

Überspannungsregistrierung in Netzen

Die Überspannungen, die im Betrieb der Hochspannungsnetze auftreten, haben die Fachleute seit Beginn der elektrischen Energieverteilung lebhaft interessiert. Werden doch durch die Überspannungen einerseits die Isolation unserer Betriebsmittel mitbestimmt und andererseits die Häufigkeit von Netzstörungen. Die Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen hat daher für ihre diesjährige kurze Fachtagung, die am 22. April 1960 in Kassel stattfand, das Thema „Überspannungsregistrierung in Netzen“ gewählt. Schon einmal sind auf einer Tagung der Gesellschaft in Kassel, und zwar im Jahre 1925 — also vor rd. 35 Jahren —, „Überspannungen“ behandelt worden. Damals interessierten besonders die durch Gewitter erzeugten Überspannungen, weil die dadurch verursachten Störungen erheblich umfangreicher waren als heute.

Vergleicht man die seinerzeitigen Berichte und Aussprachen mit den heutigen, so erkennt man den großen Erfolg unserer Forschung. Damals haben wir, als wir den Überspannungen nachgingen, noch sehr im Dunkeln getappt, denn uns fehlte die geeignete Meßtechnik. Wenn auch die Vorgänge in ihrem grundsätzlichen Verlauf bekannt waren, so hat uns erst die Entwicklung der Oszillographen, vor allem derjenigen mit Elektronenstrahlen, unser heutiges Wissen vermittelt.

M. Toepler, Dresden, hat damals in Kassel erstmals seine Theorie über den vermutlichen Charakter von Blitzentladungen vorgetragen, und H. Norinder, Upsala, hat über seine ersten Gewittermessungen an Antennen mit der einfachen Braunschen Röhre berichtet; einen Elektronenstrahl-Oszillographen gab es noch nicht.

Der damalige Stand der Technik sei kurz umrissen durch einen Auszug aus dem Bericht, den A. Rachel, Dresden, über die Überspannungsschutzfrage vom Standpunkt des Betriebs gegeben hat:

„Aus der großen Zahl von Erscheinungen lassen sich drei Gruppen als die bedeutungsvollsten herausstellen.

1. Überspannungen durch Lichtbogenerdschluß.

Hier halte ich es für meine Pflicht, besonders darauf hinzuweisen, daß sich zahlreiche Betriebe mit höheren und niederen Mittelspannungen recht günstig über die Er-

folge ihrer Einrichtungen für Erdschlußlichtbogenlöschung aussprechen. Ich muß offen gestehen, daß ich selbst überrascht bin über die einheitlichen und günstigen Urteile.

2. Überspannungen durch Schaltvorgänge.

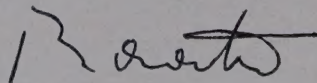
Auch hinsichtlich dieser Gruppe von Überspannungen ist recht beachtlich, daß Schwierigkeiten auf diesem Gebiet am allerwenigsten vorliegen. (Damals wurden sogenannte Schutzschalter, das sind Ölschalter mit Vorwiderständen, verwendet; auch waren die Kurzschlußleistungen der Netze noch gering.)

3. Überspannungen infolge atmosphärischer Vorgänge.

Hier liegt das Sorgenkind der Betriebe, und hier zeigt die Durchsicht aller gemeldeten Fälle, daß trotz der Anwendung der verschiedenartigsten Überspannungsschutzeinrichtungen Störungen in Anlagen aller Spannungen noch recht verbreitet sind. Einen sehr sichtbaren Beweis hierfür liefern die zahlreichen günstigen Berichte solcher Unternehmungen, die reine Kabelnetze haben.“

In den verflossenen Jahren haben sich Ausdehnung und Leistung unserer Netze sehr vergrößert. Die Übertragungsspannungen sind von 100 auf 380 kV gestiegen, und die Kurzschlußleistungen sind erheblich angewachsen. Lichtbogenerdschluß und Leistungsschalter haben dadurch zunächst auch Sorgen bereitet, während die Gewittereinwirkungen durch den heutigen Überspannungsschutz ihren überragenden Einfluß verloren haben. Unser Bestreben geht weiter dahin, die Sicherheit der Energielieferung zu erhöhen und die Bau- und Betriebskosten herabzusetzen. Ein Mittel dazu ist die Verminderung der Beanspruchung durch Überspannungen. Unsere Kenntnisse über ihr Entstehen und ihre Höhe im Netz bedürfen noch der Erweiterung und Vertiefung, wozu die laufende Netzüberwachung mit geeigneten Meßeinrichtungen sehr nützlich ist.

Dieses und das folgende Sonderheft enthalten die Vorträge und Aussprache der Tagung, an der sich in dankenswerter Weise auch die Electricité de France mit ihren Erfahrungen beteiligt hat. Die zahlreichen Beiträge und die Aussprache haben das große Interesse der Elektrizitätsversorgungs-Unternehmen und der Industrie an dem Thema gezeigt.



(Prof. Dr.-Ing. H. Baatz)

Vorstand der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen e. V.,
Nellingen über Eßlingen/Neckar

Zweck und Verfahren der Überspannungsmessungen

Von Herbert Baatz, Stuttgart*)

DK 621.3.015.38.083

Überspannungen bestimmen neben der höchstzulässigen Betriebsspannung der Netze die Isolation der Betriebsmittel. Die inneren Überspannungen sind in ihrer Höhe durch die Schalt- und Fehlervorgänge sowie auch durch die Betriebsmittel bedingt. Äußere Überspannungen durch Gewittereinwirkung können das Isolationsvermögen überschreiten und werden somit lediglich durch die Isolationspegel am Entstehungsort begrenzt. Die Kenntnis der Art und Höhe der auftretenden Überspannungen ist daher für den Bau und Betrieb der Netze von besonderer Bedeutung.

Aus Gründen der wirtschaftlichen Bemessung der Isolation und zur Verminderung der Schäden und Störungen durch Überspannungen versucht man seit Jahrzehnten, die in den Netzen auftretenden Überspannungen zu erfassen, und man hat hierzu die mannigfaltigsten Meßeinrichtungen entwickelt. Um Maßnahmen gegen das Entstehen von Überspannungen oder zu ihrer Begrenzung zu treffen, genügt es nicht allein, ihre Höhe festzustellen, sondern man muß auch ihren zeitlichen Verlauf und die Ursache ihres Entstehens kennen.

Registrierverfahren

Die Registrierung der Augenblickswerte einer Spannung oder eines Stromes im zeitlichen Ablauf läßt sich bisher nur mit Oszillographen durchführen, wobei die Schwierigkeit darin liegt, daß sowohl Vorgänge von der Dauer einer Mikrosekunde als auch einer Millisekunde und noch länger aufgezeichnet werden müssen. Diese Möglichkeit ergab sich erst mit der Entwicklung des Elektronenstrahl-Oszillographen. Allerdings ist dieses Meßverfahren sehr aufwendig. Man hat sich daher früher nur auf die Messung der Höchstwerte von Überspannungen beschränken müssen, ein Verfahren, das auch heute weitgehend verwendet wird. Es ist einfach in der Anwendung und gestattet eine ständige Überwachung.

Die heutigen Verfahren der Registrierung von Überspannungen können in drei Gruppen eingeteilt werden: 1. Pegelmessung, 2. Spitzenspannungsmessung und 3. Vorgangsmessung. Die Pegelmessung beschränkt sich darauf, festzustellen, ob eine Überspannung einen bestimmten Wert überschritten hat. Man benutzt dazu eine Funkenstrecke, die auf eine bestimmte Schlagweite eingestellt ist. Man kann sie natürlich so weit verändern, bis kein Durchschlag mehr eintritt. Um den entstehenden Lichtbogen zu löschen, hat W. Estorff [1] eine HH-Sicherung¹⁾ vorgeschaltet. Bei Spitzenelektroden ist die Durchschlagsspannung von dem zeitlichen Verlauf der Spannung und deren Polarität abhängig. Man erhält also keinen eindeutigen Wert, da man die Steilheit und Polarität des Spannungsanstieges nicht kennt.

Ersetzt man die Funkenstrecke über eine entsprechend große Impedanz, so lassen sich mehrere Funkenstrecken verschiedener Schlagweite parallel schalten. Ein Beispiel hierfür ist die Staffelfunkenstrecke von Heyne [2], die auch über einen Spannungsteiler angeschlossen werden kann. In diesem Fall kann man die Teilverhältnisse ändern. In neuerer Zeit wird als Anzeigergerät eine Elektronik mit einem Stufenzählwerk verwendet. Ein einfaches Gerät dieser Art ist von der EdF²⁾ [3] entwickelt worden. Hiermit kann man die Höhe der Überspannung in gewissen Stufen eingrenzen. Die Messung ist bei elektronischer Anzeige nicht mehr von der Form der Spannung abhängig.

Eine Pegelmessung besonderer Art muß noch erwähnt werden. Die Meßeinrichtung hierbei ist der Ableiter. Durch

die Kontrolle seines Ansprechens kann die Häufigkeit von Überspannungen, die seine Ansprechspannung überschreiten, ermittelt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der Ansprechwert von der Steilheit des Spannungsanstieges abhängig ist. Die Abbildfunkenstrecke gestattet häufig, die Polarität des Vorganges und die Höhe des abgeflossenen Stromes zu ermitteln. Daraus läßt sich unter Umständen mit der Kennlinie des Ableiters und den Netzimpedanzen die ungefähre Höhe einer aufgelaufenen Wanderwelle ermitteln.

Die feinste Stufenunterteilung bei der Pegelmessung führt dann zur Spitzenspannungsmessung, die aber doch in grundlegend anderer Weise durchgeführt wird. Das älteste und früher am meisten angewandte Gerät ist der Klydonograph [4]. Auf einer Isolierschicht mit lichtempfindlichem Film zwischen Elektroden-Spitze und -Platte wird durch die Überspannung eine Lichtenbergsche Figur aufgezeichnet, deren Durchmesser ein Maß für den Höchstwert der aufgetretenen Spannung ist. Bei höheren Spannungen ist der Klydonograph über einen Spannungsteiler anzuschließen. Umfangreiche Messungen mit dem Klydonographen sind in den zwanziger Jahren von Neuhaus [5] durchgeführt worden. Die Meßungenauigkeit des Klydonographen ist leider sehr groß, etwa $\pm 20\%$ vom Istwert. Da er aber sehr einfach und billig ist, kann er auch heute noch vielfach gute Dienste leisten.

Der heute zu ziemlicher Vollkommenheit entwickelte elektronische Spitzenspannungsmesser [6] registriert den während einer gewissen Meßzeit aufgetretenen Höchstwert und gibt ihn auf einen Schreiber. Man erhält also eine laufende Aufzeichnung über die jeweiligen Meßintervalle und kann somit die Meßwerte den Vorgängen im Netz zeitlich zuordnen.

Mit Klydonograph und elektronischen Meßeinrichtungen kann die jeweilige Polarität des Meßwertes bestimmt werden, dagegen nicht mit der Funkenstrecke.

Für die Vorgangsmessung ist zunächst der Schleifenoszillograph für die Netzüberwachung [7] verwendet worden. Da er erst bei Eintritt einer Störung eingeschaltet wird, geht infolge der Anlaufzeit der Beginn der Störung bei der Registrierung verloren. Dieser Mangel ist bei der laufenden Aufzeichnung auf Magnetband [8] behoben. Diese beiden Verfahren sind in der Aufzeichnung durch ihre Grenzfrequenz, die bei einigen tausend Hertz liegt, beschränkt. Eine zusätzliche Spitzenspannungsmessung ist natürlich möglich.

Mit Einschaltzeiten von Bruchteilen einer Mikrosekunde arbeitet nur der Elektronenstrahl-Oszillograph. Der Aufwand ist dabei ebenso wie seine Wartung aber doch erheblich, so daß er nur vereinzelt verwendet wird.

Zweck der Überspannungsmessung

In den nachfolgenden Aufsätzen wird über Ergebnisse von Messungen nach den angeführten Verfahren berichtet. Man kann nun fragen, ob es sich lohnt, solche Untersuchungen durchzuführen, denn auch ohne sie läuft der Betrieb der Netze mehr oder weniger gut. Es könnte dem Hersteller überlassen bleiben, die Geräte betriebssicher zu bemessen.

*) Prof. Dr.-Ing. H. Baatz ist Vorstand der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen e. V., Nellingen ü. B. Eßlingen a. N.

1) HH-Sicherung = Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherung.

2) EdF = Electricité de France.

sen. Um nun aus wirtschaftlichen Gründen diese Bemessung nicht zu übersteigern, muß der Hersteller wissen, welche Beanspruchungen im Netz auftreten können.

Aber auch der Betriebsingenieur, der das Netz überwacht, sollte über die Vorgänge, die zu Überspannungen führen, unterrichtet sein, um Abhilfe schaffen zu können. Ihm liegt an der Sicherheit der Versorgung und an einer langen Lebensdauer seiner Betriebsmittel. Außerdem ist er daran interessiert, seinen Betrieb mit geringstmöglichem Aufwand so wirtschaftlich wie möglich zu gestalten. Ein Mittel hierzu ist ein Mindestmaß der Isolation. Man kann dieses Minimum aber nur finden, wenn man die Beanspruchungen kennt. Andererseits wird man bestrebt sein, die Beanspruchungen durch Überspannungen dadurch zu vermindern, daß man ihr Entstehen vermeidet oder sie durch geeignete Schutzeinrichtungen in ihrer Höhe begrenzt. Man sollte an Isolierung soviel wie möglich sparen, damit die Anlagen kleiner und die Kosten geringer werden. Auch der Mangel an Raum kann dazu zwingen, kleiner zu bauen.

Andererseits interessiert das Problem der Überspannungen hinsichtlich ihrer Begrenzung durch Überspannungsschutzgeräte. Diese haben ein gewisses Ableitvermögen, das nicht überschritten werden sollte, um eine Überlastung zu vermeiden. Trotzdem ist ein zerstörter Ableiter noch ein kleineres Übel als z. B. ein Schaden an einem Transformator.

Der Aufwand für die Überspannungsregistrierung in Hochspannungsnetzen bringt nicht sogleich einen wirtschaftlichen Erfolg. Er ist aber notwendig, um Erkenntnisse zu sammeln und damit zur Erhöhung der Sicherheit und zur wirtschaftlicheren Gestaltung der Stromversorgung beizutragen.

Zusammenfassung

Die Registrierung der im Betrieb auftretenden Überspannungen bildet mit einer der Grundlagen für die Bemessung der Isolation der Hochspannungsanlagen. Die üblichen Verfahren lassen sich in drei Gruppen einteilen: die Pegelmessung, die Spitzenspannungsmessung und die Vorgangsmessung. Über die dafür verwendeten Meßeinrichtungen wird in ihren Grundzügen berichtet sowie über die Möglichkeiten, daraus Aussagen über Art und Höhe der Überspannungen machen zu können.

Aus den Registrierungen können Folgerungen für die Beanspruchung und die Bemessung der Isolation, für den zweckmäßigen Netzaufbau und für die Betriebsführung der Netze gezogen werden. Diese Erkenntnisse können sowohl wirtschaftlichen Nutzen bringen als auch der Sicherheit der Energielieferung dienen, indem Störungen vermieden werden.

Schrifttum

- [1] Dorsch, H.: Betriebsüberwachung von Hochspannungsanlagen mit der Estorffschen Funkenstrecke. ETZ-A Bd. 75 (1954) S. 72–75.
- [2] Heyne, H.: Messungen von Gewitterspannungen mittels Staffelfunkstrecke. Arch. Elektrotechn. Bd. 24 (1930) S. 469–502.
- [3] Gary, C., u. Monnet, M.: Les compteurs de surtension. Bull. Soc. Franç. Electr. 7. Serie, Bd. 9 (1959) S. 430–448.
- [4] Müller-Hillebrand, D.: Überspannungsregistrierung mit dem Klydonographen, Siemens-Z. Bd. 7 (1927) S. 547–605.
- [5] Neuhaus, H.: Überspannungsmessungen mit dem Klydonographen in deutschen Hochspannungsnetzen. Arch. Elektrotechn. Bd. 25 (1931) S. 333–358.
- [6] Rabus, W., u. Fischer, E.: Ein neuer registrierender Spitzenspannungsmesser. VDE-Fachber. Bd. 18 (1954) S. I/19–I/24.
- [7] Hathaway, C. U., u. Buell, R. C.: An automatic oscillograph. Trans. Amer. Inst. electr. Eng. Bd. 51 (1932) S. 222–225.
- [8] Baatz, H., u. Maier, H.: Magnetbandschreiber zur Störungsaufzeichnung in Energieversorgungsnetzen. Elektronik Bd. 6 (1957) S. 51–56.

Ergebnisse von Messungen mit einem Überspannungszähler in den französischen Hochspannungsnetzen

Von Claude Gary, Paris-Fontenay*)

DK 621.3.083.722 : 621.3.015.38

Für die erfolgreiche Anwendung des Grundsatzes der Isolationskoordination ist es wichtig, die Häufigkeit und die Spitzenwerte der Überspannungen zu kennen, die in einem Netz auftreten. Da die klassischen Untersuchungsverfahren, z. B. Messungen mit Schleifen- und Elektronenstrahl-Oszillographen im Netz, vor allem die Erforschung der Entstehung der Überspannungen bezwecken, wurden zusätzlich langzeitige Untersuchungen angestellt, welche die statistische Erfassung dieser Vorgänge zum Ziel hatten. Dabei interessieren nur die Überspannungen, die eine gewisse kurzzeitige Gefahr für die Isolation der Anlagen darstellen, also nur die Überspannungen, die durch Schaltvorgänge oder atmosphärische Entladungen entstehen.

Aufgabenstellung

Um eine Untersuchung in großem Umfang durchführen zu können, hat die Abteilung Études et Recherches der Électricité de France einen Überspannungszähler entwickelt¹⁾, von dem verlangt wurde, daß er betriebssicher, einfach und wirtschaftlich sein sollte, so daß man ihn in großer Stückzahl herstellen und verwenden kann. Deshalb wurde beschlossen, ein Gerät zu entwickeln, das sich darauf beschränkt, die Zahl der Überspannungen zu ermitteln und die Überspannungen nach ihren Amplituden in mehrere Bereiche einzuordnen. Der Zähler gibt weder die Form noch die Dauer und auch nicht die Polarität der Überspannungen an. Aber wenn die Angaben des Geräts auch nicht vollständig sind, bilden sie trotzdem eine genügend reiche Information, so daß eine statistische Aussage über die Überspannungsvorgänge in einem Netz möglich ist.

Kurze Beschreibung des Überspannungszählers

Der eigentliche Zähler wird an die Hochspannungsleitung über einen kapazitiven Spannungsteiler angeschlossen, dessen Hochspannungskondensator durch die Kapazität von

zwei Schirmringen gebildet wird, die an den beiden Enden einer senkrecht gespannten Isolatorenkette befestigt werden. Der Niederspannungskondensator ist in fünf Stufen unterteilt. Es sind mithin fünf Potentialanzapfungen vorhanden, von denen jede einen Zählkreis steuert. Die Kondensatoren sind so bemessen, daß die aufeinanderfolgenden Zählstufen jeweils dann ausgelöst werden, wenn der Scheitelwert einer Überspannung die auf den Scheitelwert der normalen Sternspannung bezogenen Schwellenwerte 2, 2,5, 3, 3,5 und 4 überschreitet. Der Zähler registriert also die Überspannungsfaktoren. In einem 220-kV-Netz zum Beispiel, bei dem der Scheitelwert der Sternspannung $220 \text{ kV} \cdot \sqrt{2}/\sqrt{3} = 180 \text{ kV}$ beträgt, ordnet eine passend abgeglichene Zähleranlage die Überspannung nach folgenden Werten: 360, 450, 540, 630 und 740 kV Scheitelwert.

In jedem Zählkreis befinden sich in Reihenschaltung: 1. ein auf ungefähr 140 V geladener Kondensator von 8 µF, der als Reserve-Energiequelle dient; 2. ein Thyatron mit kalter Kathode, das als Meß- und Schaltglied wirkt, und 3. die Erregerspule eines Telephonzählers. Sobald eine auftretende Überspannung einen bestimmten Wert erreicht, bewirkt sie das Zünden des Thyatrons des entsprechenden Zählkreises sowie der Röhren aller unteren Stufen. Die Kapazität entladet sich in der Spule des Zählers, so daß dieser um eine Einheit vorrückt; das Thyatron wird ge-

*) Dipl.-Ing. C. Gary ist Forschungsingenieur in der Direction des Études et Recherches d'Électricité de France, Clamart (Seine), Frankreich.

1) Gary, C., u. Monnet, M.: Les compteurs de surtension. Bull. Soc. Franç. Electr. Serie 7, Bd. 9 (1959) S. 430–448.

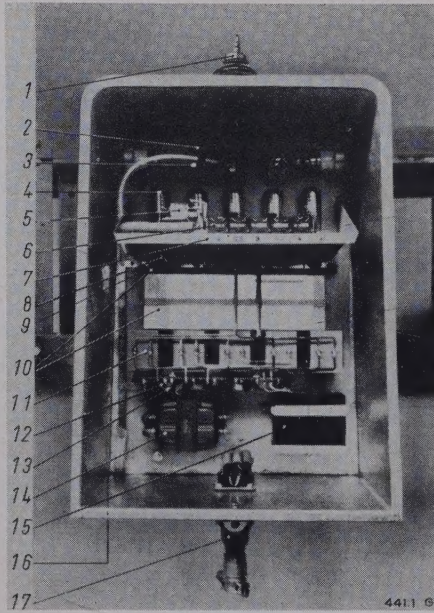


Bild 1. Überspannungszähler für fünf Spannungsniveaus (Innenansicht).

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 Eingangsklemme | 9 Dämpfungswiderstände |
| 2 Glühlampe für Beleuchtung und Temperatúrausgleich | 10 kapazitiv-ohmscher Teiler |
| 3 Buchse für Zusatzkondensatoren | 11 Kondensator |
| 4 Thyatron | 12 Ladewiderstand |
| 5 Signalrelais | 13 Trockengleichrichter |
| 6 Telefonzähler | 14 Netztransformator |
| 7 Kennnummer des Überspannungsniveaus | 15 Batterie für Gitter |
| 8 Kopplungskondensatoren | 16 Anschluß für Erdung |
| | 17 Kabelanschluß |

löscht, und der Kondensator ladet sich wieder an einer Spannungsquelle über einen hohen Widerstand auf. Die Ladezeit beträgt 3 bis 5 s.

In der Reihenschaltung des ersten Zählkreises liegt ein kleines Relais, das bei jedem Auslösen der ersten Stufe einen Meldekontakt betätigt; über seinen Zweck wird bei der Deutung der Meßergebnisse berichtet. Dieses ganze System, bestehend aus Niederspannungsteiler, Zählkreisen, Spannungsquelle und Zubehör, ist in einem Kasten aus verzinktem Blech untergebracht (Bild 1). Die Anschlußklemme an den Hochspannungskondensator befindet sich oben.

Erwähnt sei noch ein Nachteil des Thyatronen mit kalter Kathode, der systematisch Meßfehler nach sich zieht. Die Zündverzögerung (Ionisationsdauer) dieser Röhren ist ziemlich lang (etwa 3 bis 5 μ s); daraus ergibt sich, daß eine abgeschnittene Stoßwelle mit einem kleineren als ihrem wirklichen Scheitelwert oder gar nicht erfaßt wird. Ebenso wird eine volle Stoßwelle der Form $1/50 \mu$ s mit einem systematischen negativen Fehler von ungefähr 25% registriert. Aber dieser Nachteil wurde mit Rücksicht auf die Sicherheit und Einfachheit des Gerätes hingenommen.

Wahl der Einbaustellen der Zähler

Wie bereits erwähnt, stützt sich die statistische Untersuchung der Überspannungen auf einen umfassenden Einbau von Zählereinrichtungen in den verschiedensten Stellen des französischen Netzes. Die Ergebnisse, die hier dargestellt sind, wurden von 180 Zählern erhalten, die auf mehr als 60 Stellen in Netzen verteilt waren, deren Nennspannungen sich von 63 bis 220 kV erstreckten; besonderes Augenmerk wurde dabei auf die 150-kV- und 220-kV-Netze gelegt. Auch die 380-kV-Leitung Genissiat—Paris war in ihren vier Stationen mit Zählern ausgerüstet.

Bei der Wahl der Einbaustellen wurde nach einem repräsentativen Bild des gesamten Netzes gestrebt, damit man die Ergebnisse auf das ganze Netz erweitern und auch verallgemeinern kann. Zu diesem Zweck wurden von allen Parametern, die auf die Überspannungen Einfluß haben, einige ausgewählt, die für eine Station in dieser Hinsicht

kennzeichnend sind. Ferner wurde versucht, die Zähler in Abhängigkeit von diesen Parametern so gleichmäßig wie möglich zu verteilen, und zwar unter Berücksichtigung der vorhandenen Einbaubedingungen.

Ausgewählt für diese Messungen wurden folgende Parameter:

1. Die Nennspannung der Netze.
2. Die geographische Lage, die für die Gewitterhäufigkeit der Gegend oder den Grad der Verschmutzung der Atmosphäre kennzeichnend ist. Die Zähler waren so über das ganze Land verteilt, daß ihre Einbaudichte ungefähr der Netzdichte entsprach.
3. Die Größe der Station, beurteilt nach der Anzahl der abgehenden Leitungen. Man weiß z. B., und die Rechnung bestätigt es, daß die Kopfstationen gegen Blitzüberspannungen viel empfindlicher sind als die großen Stationen mit mehreren abgehenden Leitungen.
4. Der Einbauort des Zählers in der Station. Die Zähler können je nach ihrer Lage gegenüber dem Leistungsschalter unterschieden werden; man kann sie entweder unmittelbar an die Klemmen des Leistungstransformators oder an die Sammelschiene oder an eine ankommende Leitung anschließen. Jeder dieser Einbauorte ist von besonderem Interesse, da die Überspannungen bei einem Ausschaltvorgang im allgemeinen auf beiden Seiten der Unterbrechungsstelle nicht gleich sind. Schließlich bilden die nicht starr geerdeten Sternpunkte bestimmter Umspanner eine weitere Untersuchungsstelle.
5. Die Jahreszeit. Durch die Unterscheidung zwischen Sommerperiode (April bis September) und Winterperiode (Oktober bis März), die zunächst zur Einordnung der Ergebnisse eingeführt wurde, hofft man den Einfluß der Witterung, namentlich der Gewitter, aufzudecken.

Natürlich ist es definitionsgemäß nicht möglich, diese Parameter einzeln zu erfassen, so daß schließlich jedes Untersuchungsergebnis durch eine Gruppe verschiedener Parameter gekennzeichnet ist. Durch Veränderung ihrer Zusammensetzung wird es vielleicht möglich sein, den relativen Einfluß eines jeden Parameters abzuschätzen. Die Verteilung der Zähler in den Netzen am 1. März 1959 geht aus Tafel 1 hervor. In der linken Spalte der Tafel 1 sind die Einbauorte nach der Anzahl der von der Station abgehenden Leitungen und in der rechten Spalte nach ihrer Stellung gegenüber dem Leistungsschalter geordnet. In den Einbauorten I, II und III befand sich je ein dreiphasiger Zähler. Insgesamt waren 170 Geräte eingebaut.

Wo immer es möglich war, wurde eine Verbindung vom Melderelais zum Kommandopult hergestellt. Die Kenntnis der genauen Ansprechzeit der Zähler bedeutet eine wertvolle Ergänzung der Messung, da sie mit großer Wahrscheinlichkeit angibt, ob die Überspannungen bei einer Betriebsschaltung oder bei einer Störung äußerer Herkunft (Gewitter oder Nebel) entstanden sind.

Gesamtergebnisse von 1955 bis 1958

Nach Erläuterung der allgemeinen Grundsätze dieser statistischen Untersuchungen sollen nunmehr die Ergebnisse mitgeteilt werden, die zwischen 1955 und 1958 ermittelt

Tafel 1. Übersicht über die Aufteilung der Überspannungszähler in den französischen Verteilungsnetzen.

Spannung kV	Zahl der abgehenden Leitungen in den Stationen				Einbauorte I bis IV der Zähler in den Stationen			
	1	2	3	≥ 4	I Abgang	II Sammel-schiene	III Trans-formator	IV Sternpunkt
					Anzahl der Zähler			
63 bis 90	0	2	3	7	6	4	4	1
150	4	6	4	4	5	11	3	2
220	5	2	6	6	3	11	4	2
380	2	2	0	0	2	1	1	0
insgesamt	11	12	13	17	16	27	12	5

Tafel 2. Ergebnisse der Messungen mit dem Überspannungszähler aus acht Stationen des 220-kV-Netzes.

220-kV-Station	Anzahl der Abgänge	Einbauort: Leitung (1) Sammelschiene (2) Transformator (3)	Spannungs-Niveau des Zählers K_0 1)	Anzahl der gemessenen Überspannungen							
				Winter		Sommer		Winter		Sommer	
				1954 bis 1955	1955	1956	1956	1957	1957	1958	1958
				2	2,5	3	4	9	0	11	6
Belle-Epine	1	1	4,2	—	—	10	0	4	9	0	11
						3		2	3		6
						0		1	1		2
						0		0	0		0
Ile Chevre	3	1	2,6	—	—	0	0	3	2	17	16
								2	2	2	2
								2	1	0	0
								0	0		
Cholet	3	1	0,7	—	—	13	20	10	24	18	24
						5	7	6	10	9	17
						1	3	4	6	7	9
						0	0	0	1	1	4
								0	0	0	0
Cordeac (Ableiter seit 1956)	1	2	11,5	—	—	—	4	7	13	13	0
							2	4	4	10	
							2	3	0	1	
							2	1		0	
							2	0			
Crenay	7	2	3	—	0	1	0	2	0	0	0
						1		1			
						1		0			
						0					
Eguzon	7	2	2,2	—	—	—	1	0	0	0	0
							1				
							0				
Fessenheim	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	1
											1
											0
Grosblie- Destroff	1	2	—	—	4	9	5	—	—	—	—
					3	3	5				
					2	3	3				
					0	2	3				
					1	0					

1) K_0 ist ein Faktor, der die statistische Häufigkeit von Gewitterstörungen angibt. Er bedeutet die auf 100 km Leitungslänge bezogene Zahl der Leitungsauslösungen bei Gewitter.

wurden. Bevor aber eine eingehende Analyse durchgeführt wird, sollen die Ergebnisse insgesamt untersucht werden.

Tafel 2 enthält als Beispiel die Ergebnisse der Messungen aus 8 Stationen des 220-kV-Netzes. Die Streuung der Werte zwischen den verschiedenen Stationen ist, wie zu erwarten war, sehr groß, zum Teil deshalb, weil das Entstehen von Überspannungen auch vom Zufall abhängt. Eine längere Beobachtungsdauer wird vielleicht diesen Einfluß verringern.

In Tafel 3 ist die Anzahl der Überspannungen nach Beobachtungen in den Stationen zusammengestellt, in denen es die Einrichtung einer Meldeanlage erlaubt hat, den genauen Augenblick des Ansprechens zu ermitteln. Aus Tafel 3 ist ferner ersichtlich, daß bei 459 von den insgesamt 987 aufgenommenen Überspannungen Beobachtungen vorliegen, die mit ziemlicher Gewißheit auf die Ursache der Überspannungen schließen lassen.

Bild 2 zeigt eine Übersicht über die im 220-kV-Netz aufgenommenen Überspannungen, unterteilt in Sommer- und Winterperiode. Auf der Abszisse ist der Mittelwert der Zahl der Überspannungen je Station und Jahr aufgetragen, die den Ordinatenwert überschreiten (gilt auch für die Bilder 4 und 5). Außerdem sind in das Schaubild die Prüf-

Tafel 3. Zahl der Überspannungen nach Messungen mit dem Überspannungszähler, geordnet nach der Art der Beobachtungen in den Stationen.

Beobachtungen in der Station	Sommer 1955	Winter 1955 bis 1956	Sommer 1956	Winter 1956 bis 1957	Sommer 1957	Winter 1957 bis 1958	Sommer 1958	Summe
	1955	1955 bis 1956	1956	1956 bis 1957	1957	1957 bis 1958	1958	
Gewitter, keine Abschaltungen in der Station	1	0	9	5	15	9	15	54
Gewitter und Abschaltungen in der Station	7	11	36	2	30	4	11	101
Schalterauslösungen in der Station (kein Gewitter)	17	35	55	30	65	75	27	304
Anzahl der Überspannungen mit Beobachtungen	25	46	100	37	110	88	53	459
Luftüberschläge in der Station	2	1	2	1	4	—	—	10
Geräteschäden	1	2	2	2	2	—	—	9
Gesamtzahl der Überspannungen	73	84	163	93	297	134	143	987

Stoßspannung und der Schutzpegel (nach den französischen Normen) eingetragen. Extrapoliert man diese Kurven nach den hohen Überspannungen, so stellt man fest, daß — vom statistischen Gesichtspunkt aus gesehen — eine Station eine der Prüf-Stoßspannung gleiche Spannung etwa einmal in 30 Jahren auszuhalten hätte. Aus den für das 150-kV-Netz zusammengestellten Meßergebnissen ergeben sich vergleichbare Werte, jedoch ist die Anzahl der Überspannungen, die einen bestimmten Pegel erreichen, ungefähr dreimal größer als im 220-kV-Netz.

Deutung der Ergebnisse

Im folgenden wird versucht, den Einfluß der verschiedenen Parameter, die bei den Messungen berücksichtigt wurden, zu deuten.

Unterscheidung zwischen den inneren und äußeren Überspannungen

Berücksichtigt man nur die 459 Überspannungen, bei denen gleichzeitig Beobachtungen vorliegen, die entweder mittels der Meldeanlagen ermittelt wurden oder weil sie während Betriebsschaltungen auftraten, so kann man das in Bild 3 wiedergegebene Schaubild aufstellen.

Die Überspannungen bei Betriebsschaltungen haben im Durchschnitt eine kleinere Amplitude als die, welche während eines Gewitters beobachtet worden sind. Der Unterschied ist sogar stark ausgeprägt. Aus dem Diagramm ist der prozentuale Anteil der Überspannungen ersichtlich, die von Vorgängen im Betrieb der Anlage (innere Überspannungen) oder aus der Atmosphäre (äußere Überspannungen) herrühren.

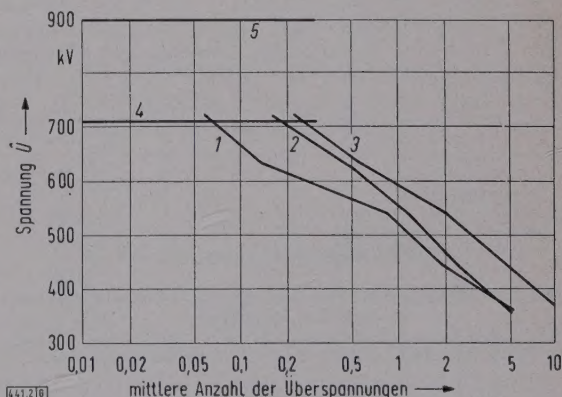


Bild 2. Zusammenhang zwischen der Höhe und der Häufigkeit der Überspannungen in den Stationen des 220-kV-Netzes.

- 1 während der Winterhalbjahre
2 während der Sommerhalbjahre
3 im Jahresdurchschnitt
4 Schutzpegel
5 Prüf-Stoßspannung

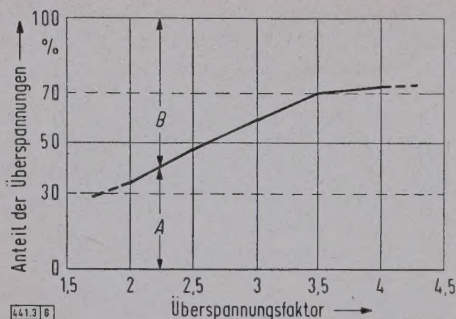


Bild 3. Prozentualer Anteil der inneren und äußeren Überspannungen, abhängig vom Überspannungsfaktor.

A äußere Überspannungen,
B innere Überspannungen.

Legt man nun dieselben Prozentsätze der gesamten Anzahl der aufgenommenen Überspannungen zugrunde, so erhält man das in Bild 4 gezeigte Ergebnis. Darin ist der Zusammenhang zwischen dem Überspannungsfaktor und seiner Häufigkeit für folgende Fälle dargestellt: Die Anzahl aller Überspannungen, die Zahl der wahrscheinlich durch Gewitter verursachten Überspannungen und diejenigen, welche Betriebsstörungen als wahrscheinliche Ursache hatten. Angegeben sind ferner die Prüf-Stoßspannung, der Schutzpegel der Ventilableiter und die Stehspannung gegenüber inneren Überspannungen (man kann annehmen, daß diese den 1,3-fachen Wert der 1-min-Prüfspannung beträgt).

Nimmt man an, daß Gefahr eines Durch- oder Überschlages besteht, wenn diese Pegel überschritten werden, so stellt man fest, daß die Überspannungen zur Zeit nicht die vorherrschende Ursache für Schäden an den Geräten bilden. Wenn man außerdem annimmt, daß die Amplituden atmosphärischer Überspannungen durch das Vorhandensein von Ventilableitern oder Funkenstrecken begrenzt werden, so sieht man, daß die Beanspruchungen durch innere Überspannungen in statistischer Hinsicht vielleicht die gefährlichsten sind.

Einfluß der Anzahl der abgehenden Leitungen

Für die Überspannungsfaktoren 3,5 und 4, die wahrscheinlich am häufigsten eine atmosphärische Ursache haben, ergibt sich bei den betrachteten Stationen die Folgerung, daß ein sehr deutlicher Einfluß der Anzahl der abgehenden Leitungen vorhanden ist (Bild 5). Die Beobachtungen zeig-

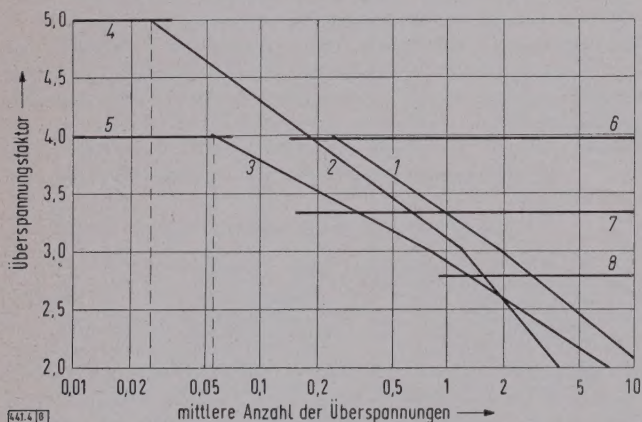


Bild 4. Zusammenhang zwischen den Überspannungsfaktoren und ihrer Häufigkeit.

Die Aufgliederung der Gesamtzahl nach inneren und äußeren Überspannungen ist nach Bild 3 vorgenommen worden.

- 1 Gesamtzahl der Überspannungen
- 2 äußere Überspannungen
- 3 innere Überspannungen
- 4 gegenwärtige Stehspannung für Stoßspannungsprüfungen
- 5 Stehspannung gegenüber inneren Überspannungen
- 6 gegenwärtiger Schutzpegel gegen Stoßspannungen
- 7 künftiger Schutzpegel gegen Stoßspannungen
- 8 künftiger Schutzpegel gegenüber inneren Überspannungen

ten, daß in Kopfstationen am häufigsten atmosphärische Überspannungen entstehen.

Überspannungen in den verschiedenen Teilen einer Station

Man kann nicht erwarten, daß die inneren Überspannungen auf beiden Seiten eines Leistungsschalters gleich groß sind. Um im strengsten Sinne gültige Ergebnisse erlangen zu können, müßte man die Überspannungszähler in einer Station vervielfachen. Das ist für spätere Untersuchungen in bestimmten interessanten Stationen in Aussicht genommen.

Man kann jedoch schon für die Überspannungsfaktoren 2 und 2,5, die wahrscheinlich am häufigsten eine innere Ursache haben, ersichtliche Unterschiede feststellen. Die Sammelschienen und die Umspanner scheinen weniger als die Leitungen beansprucht zu sein. Man kann daraus schließen, daß die meisten Überspannungen bei Leitungsabschaltungen entstehen (Bild 6).

Schlußbemerkungen

Der beschriebene Überspannungszähler scheint ein für die statistische Untersuchung der Überspannungen gut geeignetes Gerät zu sein. Die bis jetzt erhaltenen Ergebnisse liefern nützliche Angaben über die durchschnittliche Anzahl und Amplituden der Überspannungen, die eine Station im

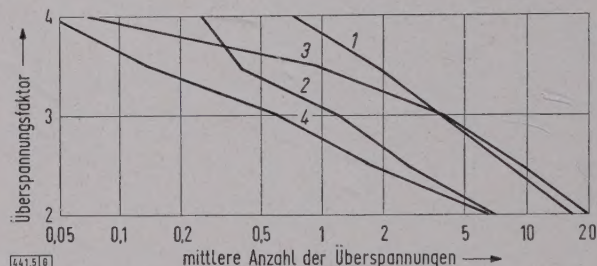


Bild 5. Einfluß der Zahl der abgehenden Leitungen einer Station auf die Häufigkeit des Überspannungsfaktors.

- 1 eine abgehende Leitung
- 2 zwei abgehende Leitungen
- 3 drei abgehende Leitungen
- 4 vier oder mehr abgehende Leitungen

normalen Betrieb beanspruchen. Andererseits bestätigt die Deutung des Einflusses der gewählten Parameter ziemlich gut die bisherigen Vorstellungen, die entweder durch Erfahrungen der Betriebsfachleute oder durch Rechnung und bei der Prüfung von Leistungsschaltern erworben wurden. Die Deutung ist besonders klar für das Verhalten der Gewitterüberspannungen.

Inzwischen sind weitere Überspannungszähler eingebaut worden, und die Untersuchungen werden fortgesetzt. Die Frage ist nun, ob die zukünftigen Ergebnisse mit den jetzigen übereinstimmen werden. Trifft dies zu, dann ist erwiesen, daß die Anzahl der erhaltenen Ergebnisse statistisch ausreichend war; ist das nicht der Fall, dann werden weitere Messungen zu einigen Abweichungen von den bisherigen Ergebnissen führen.

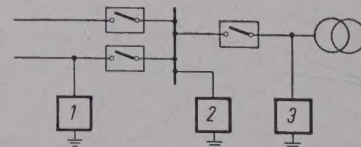
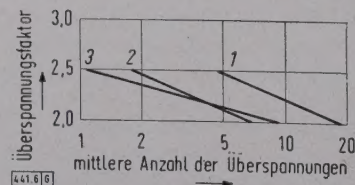


Bild 6. Einfluß des Einbauortes des Überspannungszählers in der Station auf die Höhe und Häufigkeit des Überspannungsfaktors γ .

Unter der mittleren Anzahl der Überspannungen sind hier nur die Überspannungen gemeint, bei denen der Ordinatenwert überschritten wird, aber unter $\gamma = 3$ bleibt.

- 1 auf der Leitung
- 2 an der Sammelschiene
- 3 am Transformator



Zusammenfassung

Der von der Electricité de France entwickelte Überspannungszähler wird über einen kapazitiven Spannungsteiler an das Hochspannungsnetz angeschlossen. Er enthält die Meßglieder für fünf Zählniveaus, wovon jedes ein einfaches Zählwerk betätigt. Jede auftretende Überspannung wird von allen Zählwerken registriert, deren Niveau überschritten wird. Ein systematischer etwa dreijähriger Einsatz von zuletzt etwa 180 Geräten in den französischen Hochspannungsnetzen von 63 bis 380 kV brachte interessante Ergebnisse über die Häufigkeit gewisser Überspannungswerte bei Gewittern und Schaltvorgängen und damit über die Beanspruchung der Geräteisolation.

Aussprache

W. Rabus, Stuttgart: Bei Netzstörungen können, wie berichtet wurde, innere Überspannungen in sehr rascher Folge auftreten. Daher wäre es interessant, zu erfahren, wie groß die Zählgeschwindigkeit dieser Überspannungszähler ist. Wir vermuten, daß bei der Störung, über die A. Findeiß berichtet hat, der Stromwandler in kurzen Zeitabständen immer wieder durchschlug. Wenn nun in diesem Falle das Zählgerät, über das C. Gary berichtet hat, einige Zeit zur Wiederherstellung seiner Zählbereitschaft braucht, die in der Größenordnung von Sekunden liegt, könnten sich in einem solchen Fall Fehlschlüsse hinsichtlich der Auswirkung derartiger Überschläge bzw. der ausgelösten Überspannungen ergeben, falls man nicht die Trägheit der Registrier-einrichtung gebührend beachtet.

C. Gary, Paris: Ihr Einwand ist berechtigt. Die Zeit, bis der Zähler wieder bereit ist, beträgt ungefähr 5 s. Aber wenn

in dieser Zeit mehrere Überspannungen auftreten, zeigt der Zähler immer den höchsten Spitzenwert an, d. h. wenn nach der ersten Überspannung noch eine andere folgt, die einen größeren Spitzenwert hat, so ist die obere Stufe des Zählers noch bereit, diese höhere Spannung zu zählen. Es wird aber der Vorgang nur als eine Überspannung gezählt.

Ferner hat W. Waste nach dem Registriergerät von L. Richard gefragt. Ich kenne dieses Gerät. Es soll den Nachteil unseres Überspannungszählers, der in seiner Auslöseverzögerung besteht, beseitigen. Bei unserem Gerät kann es — wie bereits erwähnt — vorkommen, daß eine abgeschnittene Welle nicht gezählt wird. Wir haben das hingenommen, weil das Gerät sehr billig ist. Wir haben ferner angenommen, daß in Hochspannungsnetzen eine abgeschnittene Welle durch die Kapazität der Stationen soweit verformt wird, daß sie von unserem Gerät noch gezählt wird. Aber jetzt fangen wir an, solche statistischen Untersuchungen auch in Mittelspannungsnetzen durchzuführen, und da ist die Ansprechverzögerung der Kaltkathodenröhren zu groß. Deshalb benutzen wir jetzt einfach einen Zähler mit Röhren, die geheizte Kathoden haben, bei dem die Verzögerungszeit nur ungefähr ein Zehntel so groß ist; sie beträgt also statt $3\mu\text{s}$ nur $0,3\mu\text{s}$. Das dürfte wahrscheinlich genügen.

Zu dem Zähler von Richard ist zu sagen, daß er dasselbe Prinzip benutzt wie der Spitzenspannungsmesser nach W. Rabus, d. h. die Überspannung ladet einen Kondensator über eine Diode auf; dieser Kondensator behält die Spitzenspannung so lange, bis das Thyatron ansprechen kann. Das ist der hauptsächlichste Unterschied. Weiter hat Richard mehrere Kreise, besonders am Kapazitätsteiler, durch eine bessere Anpassung des Hochspannungs- an den Niederspannungsteil so verbessert, daß der Fehler in keinem Fall mehr als 5% betragen kann.

Meßverfahren und Betriebsverhalten bei der Registrierung von Überspannung mit Elektronenstrahl-Oszillographen

Von Helmut van Bergen, Berlin*)

DK 621.317.755.087.61 : 621.311.1.027.22.015.3

Auf Anregung von und in Zusammenarbeit mit der Hannover-Braunschweigischen Stromversorgungs AG (Hastra) wurde in den Sommermonaten der Jahre 1958 und 1959 ein Registrierverfahren mit automatisch arbeitenden Elektronenstrahl-Oszillographen an verschiedenen Stellen des 10-kV-Netzes der Hastra erprobt. Bei diesen Versuchen sollten Erfahrungen über die Auswertbarkeit und Aussagekraft der anfallenden Oszillogramme für die Aufklärung von Störungen und auch für das Verhalten des Netzes gewonnen werden. Außerdem wollte man Erfahrungen über den Dauerbetrieb der komplizierten elektronischen Apparatur auf unbewachten Stationen sammeln und die Verwendbarkeit des Verfahrens für die Überwachungspraxis nachweisen.

Registrierverfahren mit Elektronenstrahl-Oszillographen bieten beim Registrieren von Überspannungen neben dem großen Vorteil der Trägheitslosigkeit den weiteren Vorteil, während der langen Wartezeiten — der Oszillograph liegt ja auf der Lauer — keine bewegten Teile zu haben. Infolge der Trägheitslosigkeit ist die Ansprechzeit so klein, daß man mit einem normalen Laufzeitkabel diese Zeit überbrücken kann. Der damit gegenüber der Oszillographenauslösung verzögerte Meßvorgang erscheint infolgedessen von seinem Beginn an.

Meßtechnische Erfassung der Überspannung

Zur näheren Kennzeichnung des Meßverfahrens soll zunächst der Weg, den die zu registrierende Spannung von der Sammelschiene bis zu den Ablenkplatten des Oszillographen zurücklegt, verfolgt werden. In Bild 1 ist dieser Weg in vereinfachter Form dargestellt. Der Hochspannungsteiler aus den Kapazitäten C_1 und C_2 liegt zwischen Leiter und Hochspannungserde. An seinem Abgriff A wird die geteilte Spannung über ein Laufzeitkabel mit etwa $1\mu\text{s}$ Verzögerung den Oszillographenröhren über zugehörige

Anpassungsteiler zugeführt, während die Spannung zum Auslösen unmittelbar weitergeleitet wird. Zur Vermeidung von Reflektionen auf dem Laufzeitkabel ist der Widerstand R , der annähernd gleich dem Wellenwiderstand ist, in den Signalweg eingefügt. Die hochohmigen Anpassungsteiler sind frequenzkompensiert und verzerrungsfrei. Der Übertragungsbereich dieser Anordnung erstreckt sich von $16\frac{2}{3}\text{Hz}$ bis etwa 1 MHz. Die obere Frequenzgrenze wird durch das Laufzeitkabel und vor allem durch den Hochspannungsteiler selbst bestimmt. Auf jeden Fall ist mit dem

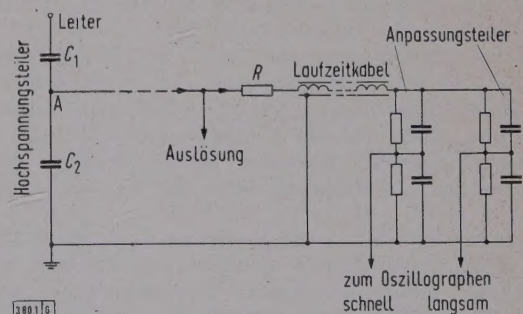


Bild 1. Ankopplung der Oszillographen.

*) Dr.-Ing. H. van Bergen ist Mitarbeiter der AEG-Fabriken Reinickendorf.

genannten Bereich die amplituden- und phasengetreue Übertragung der interessierenden Überspannungen einschließlich der normalen Betriebsspannung gesichert.

Zur Erfassung der schnell abklingenden Ausgleichsvorgänge und ihrer wesentlich langsameren Folgeerscheinungen ist die Verwendung von zwei Schreibstrahlen je Leiter-Erdspannung erforderlich. Der erste Strahl löst mit hoher Schreibgeschwindigkeit den Störungsbeginn auf, während der zweite Strahl mit niedriger Schreibgeschwindigkeit eine Anzahl der auf die Störung folgenden Netzperioden aufzeichnet. Hier haben sich die Zeitmaßstäbe von 30 bis $100 \mu\text{s}/\text{cm}$ und von $20 \text{ ms}/\text{cm}$ gut bewährt. Nach diesem System benötigte man für zwei Spannungen zwei Zweistrahl-Oszillographen; man verwendete für die beiden schnellen Vorgänge einen Zweistrahl-Oszillographen hoher Schreibgeschwindigkeit und für die beiden langsamen Vorgänge einen solchen mit geringerer Schreibgeschwindigkeit.

Auslösung durch die Überspannung

Im Gegensatz zu diesem an sich einfachen Verfahren braucht man für die Auslösung der Oszillographen besondere Maßnahmen, um den gesamten Registriervorgang vom Start der Zeitlinie bis zur Filmfortschaltung exakt durchführen zu können. Die nach Größe, Form, Dauer und Polarität unterschiedlichen und nicht vorhersehbaren, der Betriebsspannung überlagerten Vorgänge muß man in Impulse definierter Art umwandeln, um eine einwandfreie Anregung zu erhalten.

Zu diesem Zweck wird die am Hochspannungsteiler am Punkt A unverzüglich abgenommene Signalspannung umgeformt. Zunächst wird die normale Betriebs-Wechselspannung zur Vermeidung einer netzfrequenten Dauerauslösung ausgeschieden. Die verbleibende überlagerte Spannung von positiver oder negativer Polarität wird nunmehr gleichgerichtet und gelangt als unipolare Spannung an ein Sondergerät. Mit ihm wandelt man Spannungen unterschiedlicher Steilheit und Größe in weiten Grenzen in solche mit definierten Werten um. Hier bietet sich ferner die Möglichkeit zu einer Niveaueinstellung, mit der man den Überspannungspegel wählen kann, von dem ab eine Auslösung erwünscht ist. Nicht interessierende kleine überlagerte Vorgänge können daher von der Registrierung ausgeschlossen werden, was für die Praxis von erheblicher Bedeutung ist. Nach dem Auslösen sperrt sich der Auslöseweg bis zu dem Zeitpunkt, in dem eine erneute Registrierung möglich ist. Diese Sperrzeit beträgt etwa 1 s.

Praktische Ausführung

Als Ort für die Registrierung wurden Transformatorstationen gewählt. Bild 2 zeigt den Geräteaufbau. Auf dem Tisch sind zu erkennen: links der Überspannungs-Punktschreiber (System Rabus-Fischer), dann vorn der schnell schreibende Zweistrahl-Stoßspannungs-Oszillograph mit automatischem Registriervorsatz, in der Mitte das besondere Auslöse- und Verteilergerät und schließlich rechts der langsam schreibende Zweistrahl-Oszillograph, ebenfalls mit Registriervorsatz. Unter dem Tisch steht das Umformeraggregat. Alle Geräte befinden sich außerhalb des Hochspannungsbereichs. Im Hintergrund steht der Stationstransformator.

Den Hochspannungsanschluß mit den kapazitiven Teilern zeigt Bild 3. Die beiden Teiler vorn gehören zu den Zweistrahl-Oszillographen; sie haben je 1000 pF Eingangskapazität und ein Teilverhältnis von 1:50. Zur oszillographischen Registrierung gelangten nur zwei Leiter-Erdspannungen, damit für die Versuche handelsübliche Zweistrahl-Oszillographen verwendet werden konnten. An der Wand sind die drei ähnlichen Teiler für den Punktschreiber sichtbar.

Auf solchen unbesetzten Stationen waren diese Registriergeräte insgesamt 8 Monate erfolgreich in Betrieb. Die Tag und Nacht unterbrechungslos betriebsbereiten Oszillographen wurden täglich einmal über die Tonfrequenz-Rundsteueranlage zur Kontrolle ausgelöst. Diese diente bei der

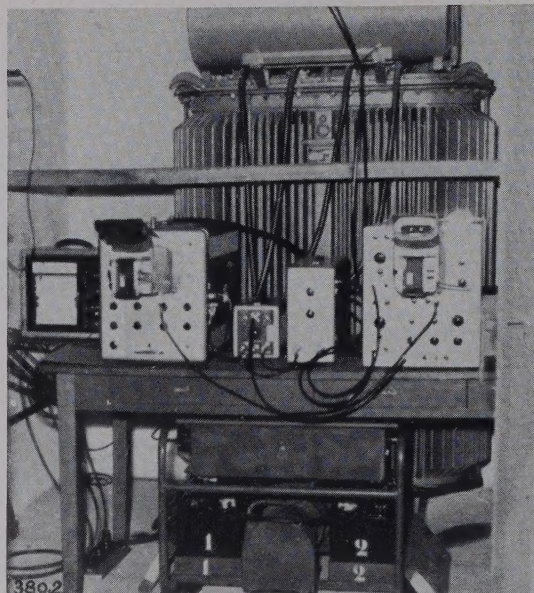


Bild 2. Registrieranlage, aufgestellt in einer Transformatorstation. Erläuterungen im Text.

ständig registrierbereiten Kamera zum Vermeiden von Filmvorbelichtungen infolge langer Wartezeiten. Die Kontrollaufnahmen zeigten auch, daß die einmal vorgenommenen Einstellungen für den Zeitmaßstab, den Auslösepegel und die Intensität ausreichend konstant blieben und die mit etwa 60 Verstärkerröhren bestückten Geräte funktionsfähig waren.

Da die Geräte aus meßtechnischen Gründen mit der Hochspannungserde verbunden sind, sie aber andererseits von der Niederspannungsseite her gespeist werden, muß ihre Stromversorgung mit Isoliertransformatoren gegen Überspannungen geschützt sein. Um auch die Registrierungen in den interessantesten Fällen bei Stromausfall zu erhalten, benutzte man ein Umformeraggregat mit Batteriereserve für 5 min.

Die Bedienung der Meßeinrichtung bestand aus rechtzeitigem Filmwechsel, der Filmentwicklung und der Protokollführung. Die zeitliche Zuordnung wurde mit Hilfe eines Zeitschreibers bewerkstelligt, der bei jeder Registrierung einen Zacken vermerkte. Der Filmvorrat, 40 Aufnahmen, reicht je nach den anfallenden Betriebsereignissen für Tage oder Wochen aus. Die automatische Filmkennzeichnung und -fortschaltung arbeitete bei der verwendeten Robot-Kamera ohne Störung. Es wurden mehrere hundert Oszillogramme von Störungen und sonstigen Betriebsvorfällen im Netz aufgenommen.

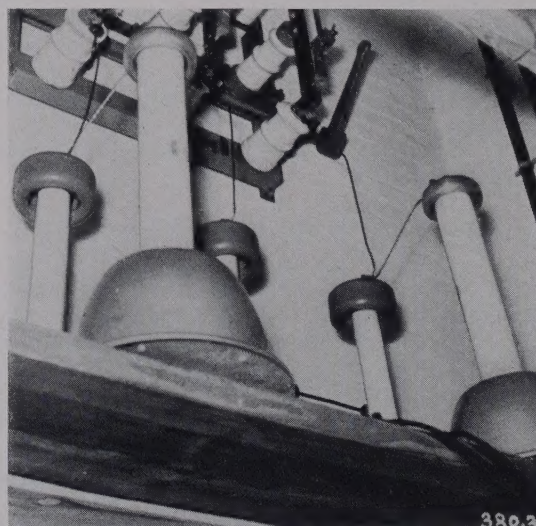


Bild 3. Anschluß der kapazitiven Hochspannungsteiler.

Die guten Ergebnisse mit der vorstehend beschriebenen Registrieranlage lassen es zweckmäßig erscheinen, dieses System weiter zu vervollkommen. Eine Verringerung des Aufwandes an Geräten läßt sich bei einer auf die Bedürfnisse der Hochspannungsnetz-Überwachung zugeschnittenen oszillographischen Registrieranlage für Drehstrom erreichen.

Zusammenfassung

Von der AEG wurden gemeinsam mit der Hannover-Braunschweigischen Stromversorgungs AG erfolgreich Versuche durchgeführt, Über- und Ausgleichsspannungen im Hochspannungsnetz über längere Zeiträume mit Elektronenstrahl-Oszillographen zu registrieren. Das angewendete Meß- und Auslöseverfahren sowie seine Ausführung in der Praxis werden beschrieben.

Aussprache

W. Rabus, Stuttgart: Ich möchte H. van Bergen fragen, wie lang die Repetitionszeit der Registrier-Kathodenstrahl-Oszillographen ist, also die Zeit, bis das Gerät wieder aufnahmebereit ist.

H. van Bergen, Berlin: Die Repetitionszeit der beschriebenen Registrier-Oszillographen beträgt etwa 1 s. In dieser Zeit wird zuerst die Störung geschrieben, dann das Meßraster und das Zählwerk beleuchtet, die Nulllinie geschrieben und schließlich der Film fortgeschaltet. Man könnte diese Zeit noch verkürzen. Die Repetitionszeit ist gegenüber der notwendigen gesamten Beobachtungszeit außerordentlich klein und dürfte das statistische Ergebnis kaum beeinflussen.

Laufende Registrierung von Überspannungen in Mittelspannungsnetzen mit neueren elektronischen Geräten

Von Alfred Dennhardt, Hannover*)

DK 621.317.726 : 621.3.083.722

Im Netz der Hannover-Braunschweigischen Stromversorgungs-AG (Hastra) sind vor Jahren viele Störungen eingetreten, die offenbar durch hohe Überspannungen verursacht wurden. Da diese nicht genügend geklärt werden konnten und auch Netzversuche keine Aufklärung dieser Vorgänge brachten, stellte der Vorstand der Hastra im Jahre 1949 die Aufgabe, ein Verfahren zur Aufzeichnung von Überspannungen im Betrieb zu entwickeln. Dabei sollten nicht nur die Höhe der auftretenden Überspannungen, sondern nach Möglichkeit auch ihr zeitlicher Verlauf aufgezeichnet werden. Das Verfahren sollte ermöglichen, an beliebigen Stellen im Netz längere Zeit ohne Wartung Überspannungsvorgänge zu registrieren.

Meßverfahren

Als zweckmäßige Lösung zum laufenden Registrieren von Überspannungen schien die Verwendung von Elektronenstrahl-Oszillographen im Dauerbetrieb geeignet. Der aufzunehmende Vorgang sollte den Elektronenstrahl-Oszillographen auslösen, während die Spannung ständig über ein Verzögerungskabel an den Ablenkplatten des Elektronenstrahl-Oszillographen liegt. Die Entwicklung des Oszillographen und vor allem der neuartigen, auswählenden Anzeigevorrichtung übernahm die AEG, die ihrerseits mit der TH Hannover zusammenarbeitete. Mit dem Bau des Registriergerätes wurde im Jahre 1954 begonnen. Es wurde dann in den Jahren 1958 und 1959 im Netz erprobt. Außerdem wurde ab 1955 der Spitzenspannungsschreiber nach W. Rabus zum Vergleich eingesetzt. Um auch Vorgänge mit hoher Frequenz zu erfassen, sah man von vornherein für die Messung kapazitive Spannungsteiler vor.

Kennzeichnende Daten des Netzes

Die Versuche wurden im Netz der Betriebsverwaltung Fallingb. der Hastra durchgeführt. Das Netz ist ein vermaschtes 15-kV-Insellnetz, das mit Erdschlußlöschung betrieben wird. Der zweifach gespeiste Netzknotenpunkt Dühorn liegt ungefähr in der Netzmitte. Das Netz hat einen Halbmesser von etwa 20 bis 25 km. Die Leitungen und Sammelschienen sind überwiegend bereits für eine Spannung von 20 kV isoliert.

Das Netz besteht aus 343 km Freileitungen und 32 km Kabel. Von den Freileitungen sind 304 km mit Holzmasten, 37,5 km mit Betonmasten und 1,5 km mit Eisenmasten ausgerüstet. Die am häufigsten verwendeten Isolatorentypen sind VK 60 und VHD 20 sowie in älteren Netzteilen VHW 15.

Von den 223 Umspannstellen sind 39 mit Ventilableitern und 176 mit Rohrableitern ausgerüstet. Außerdem sind im Netz 34 Kabelaufführungsmaste mit Ventilableitern vorhanden. Weitere Sätze von Ventilableitern sind in besonders langen Leitungen eingebaut. Insgesamt enthält das Netz 228 Ventilableiter und 549 Rohrableiter.

Für das Schwingungsverhalten des Gesamtnetzes bei Überspannungsvorgängen ist von Bedeutung, daß im Hochspannungsnetz eine Kondensatorleistung von 1,450 MVar zum Ausgleich von Blindstrom eingebaut ist. Sie wird teilweise mit Fernsteuerung durch Tonfrequenz-Rundsteueranlage in Abhängigkeit der Belastung zu- und abgeschaltet.

In den Niederspannungsnetzen ist eine Kondensatorleistung von etwa gleicher Größe installiert, die zum größten Teil mit den Landwirtschaftsmotoren als Einzelkondensatoren zu- und abgeschaltet wird.

Ergebnisse mit dem Überspannungs-Punktschreiber

Ergebnisse aus einer Gewitterperiode

Als Beispiel sei über die Messungen einer Gewitterperiode in der Schaltstation Ahlden berichtet, von der 6 Freileitungen (davon 4 Holzmastleitungen und 2 Betonmastleitungen) abgehen. Die Station Ahlden, die in einem

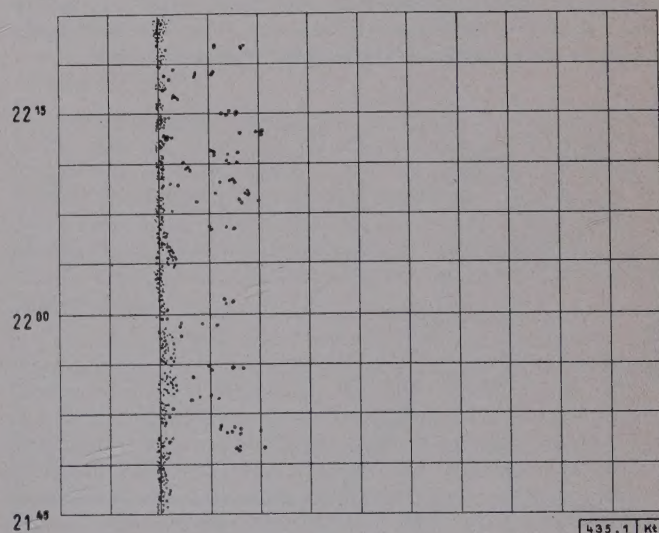


Bild 1. Ausschnitt aus den Aufzeichnungen eines Überspannungs-Punktschreibers, aufgenommen während eines Gewitters in der Schaltstation Ahlden am 12. Juli 1955.

*) Dr.-Ing. habil. A. Dennhardt ist Leiter der technisch-wissenschaftlichen Abteilung der Hannover-Braunschweigischen Stromversorgungs-AG, Hannover.

Gebiet mit großer Gewitterhäufigkeit liegt, war seinerzeit mit 2 Sätzen Ventilableitern und 4 Sätzen Rohrableitern geschützt. Zu erwarten war, daß die registrierten Spannungen unter der Ansprechspannung der Ableiter liegen. Nur bei sehr steilen Spannungsanstiegen infolge von nahen Blitzschlägen können höhere Spannungen auftreten. Der in Bild 1 dargestellte Ausschnitt aus der Aufzeichnung des Überspannungs-Punktschreibers an einem Gewittertage bestätigt diese Feststellung. An diesem besonders gewitterreichen Tage erhielt man 363 Registrierungen, die über dem 1,2-fachen Scheitelwert der normalen Sternspannung des Netzes liegen.

Ergebnisse aus dem Bereich der inneren Überspannungen

Der Überspannungs-Punktschreiber hat sich auch bei der Erfassung innerer Überspannungen bewährt. Vorfälle, wie aussetzende Erdschlüsse in fehlerhaften Ortsnetztransformatoren oder Kabeln, die allmählich in einen Dauererdschluß übergehen, erfaßt der Überspannungs-Punktschreiber auch dann, wenn diese Vorgänge in größerer Entfernung von der Meßstelle auftreten.

Statistische Auswertung der Ergebnisse

Als Beispiel zeigt Bild 2 die Häufigkeitsverteilung der Überspannungen, die in der Schaltstelle Ahlden während der Gewitterzeit vom 10. Juli bis zum 13. August 1955 registriert wurden. Als Klassenmerkmal wurde der Überspannungsfaktor, also das Verhältnis des aufgezeichneten Spitzenwerts der Überspannung zum Scheitelwert der normalen Sternspannung des Netzes verwendet. In die Statistik einbezogen wurden nur Meßwerte, bei denen der Überspannungsfaktor gleich oder größer als 1,2 war.

Insgesamt wurden 534 Überspannungen erfaßt; davon lagen 491 in dem Bereich von 1,2 bis 2,0 des Überspannungsfaktors, 42 in dem Bereich 2,0 bis 3,0 und nur ein Meßwert lag über 3,0, nämlich bei 3,6.

Der Mittelwert des Überspannungsfaktors betrug rd. 1,6. Bei 98 % der Meßwerte war der Überspannungsfaktor kleiner als 2,2. Die gestrichelte im Bild 2 eingezeichnete wahrscheinliche Häufigkeitsverteilung wurde aus der Summenhäufigkeitskurve abgeleitet. Das relative Maximum des Überspannungsfaktors bei etwa 1,7 kann so erklärt werden, daß bei einem satten Erdschluß die Leiter-Erdspannung der beiden gesunden Leiter im ganzen Netz auf die Dreiecksspannung, also das $\sqrt{3}$ -fache der Sternspannung ansteigt.

Die Meßwerte, die während einer anderen Gewitterperiode in einer Kopfstation registriert wurden, ergaben eine ähnliche Häufigkeitsverteilung. Die Überspannungsfaktoren waren aber, wie erwartet, im Mittel höher.

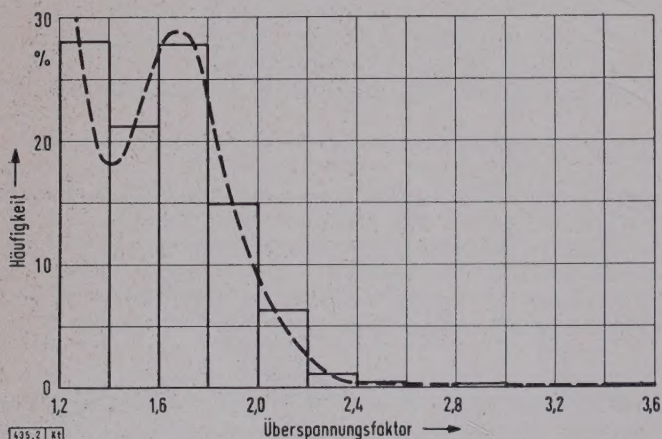


Bild 2. Häufigkeitsverteilung der Werte der Überspannungen, gemessen in der Schaltstation Ahlden im Sommer 1955.

Meßergebnisse mit dem selbsttätigen Elektronenstrahl-Oszillographen

Die Messungen mit diesem Gerät wurden während der Gewitterperiode des Sommers 1958 in der Kopfstation Lindwedel gemacht, die als Abzweig im Zuge eines verhältnismäßig langen Leitungsstrahles liegt. In dieser Leitung sind durch Einzelabzweige sowie angeschaltete Hochspannungskondensatoren zahlreiche Reflexionsstellen für Wanderwellen vorhanden.

Aufgezeichnet wurden stets zwei Leiter-Erdspannungen. Der Spannungsmaßstab der Oszillogramme betrug 10 kV/cm. Der Zeitmaßstab wurde zu 1000, 300 oder 100 μ s/cm gewählt.

Bild 3 zeigt als Beispiel ein solches Oszillogramm. Bei Gewitter trat vermutlich durch einen Blitzschlag auf dem Leiter T eine sehr hohe Überspannung auf, die zu einem Überschlag gegen Erde und damit zu einem einpoligen Erdschluß des Leiters T gegen Erde führte. Das Oszillogramm der Leiter-Erdspannung u_{TE} zeigt die Stirn dieser abgeschnittenen Stoßspannung und das Oszillogramm der

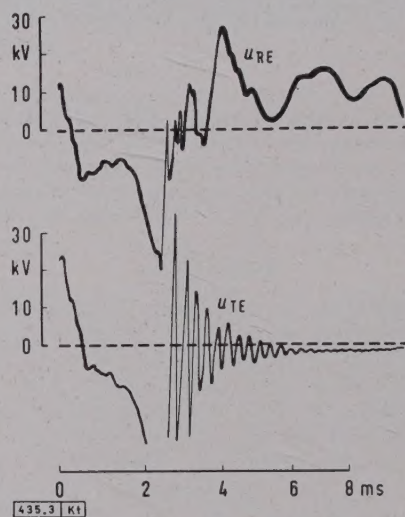


Bild 3. Oszillogramm eines Erdschlußwischers bei Gewitter. Nähere Erläuterungen im Text.

Leiter-Erdspannung u_{RE} die auf den Leiter R durch kapazitive Kopplung übertragene Spannung. Die Einwirkungsstelle des Blitzes lag anscheinend in der Nähe der Meßstelle.

Um einen noch tieferen Einblick in die Vorgänge zu erhalten, hat man an einer anderen Netzstelle in der Gewitterperiode des Jahres 1959 einen Elektronenstrahl-Oszillographen mit schneller Zeitablenkung und einen anderen mit langsamer Zeitablenkung gleichzeitig eingesetzt, wobei der zweite durch den ersten ausgelöst wurde. Bei dem Oszillographen mit schneller Ablenkung wurde dann ein Zeitmaßstab von 30 μ s/cm angewendet. Die Gesamtschreibzeit des Elektronenstrahl-Oszillographen mit langsamer Ablenkung betrug etwa 10 Perioden der 50-Hz-Schwingung. Der Spannungsmaßstab war wiederum 10 kV/cm.

Als Meßort wurde eine Kopfstation in einem Abzweig einer vom Speisepunkt abgehenden Maschenleitung gewählt. Die Länge des Abzweiges betrug 1 km, die Entfernung des Abzweiges vom Speisepunkt 3,5 km und von den nächsten Schaltstellen 2,5 km bzw. 1,5 km. Abhängig vom Zeitverlauf des anregenden Vorganges und seiner Lage zur Meßstelle können somit Schwingungen von einigen hundert Hertz bis zu Wanderwellenschwingungen von einigen zehntausend Hertz auftreten.

In den Monaten Juli bis Anfang Oktober 1959 wurden etwa 70 Oszillogramme aufgenommen. Hiervon seien zwei Aufnahmen als weitere Beispiele wiedergegeben.

Bild 4 gibt die Aufzeichnungen eines Überspannungsvorganges bei Gewitter mit dem raschen und mit dem langsameren Oszillographen wieder. Offenbar handelt es sich hierbei um eine auf beide Leiter übertragene Spannung von geringer Höhe, die durch einen Blitz erzeugt wurde, der nicht allzuweit von der Leitung niederging (Bild 4a). Der Vorgang ist in Bild 4b, das die beiden phasenverschobenen Leiter-Erdspannungen der Netzfrequenz 50 Hz zeigt, nur am Anfang der Registrierung noch etwas zu erkennen.

Bild 5a zeigt die Aufzeichnungen der beiden Leiter-Erdspannungen bei einem sehr kurzen Erdschlußwischer bei Gewitter. Im Oszillogramm Bild 5b, das mit geringer Schreibgeschwindigkeit aufgenommen wurde, sieht man, wie die Spannung des fehlerhaften Leiters R gegen Erde

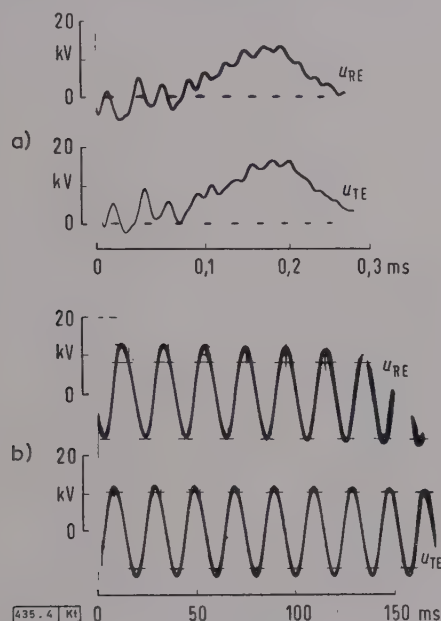


Bild 4. Aufzeichnung zweier Leiter-Erdspannungen bei einer Gewitter-Überspannung.

a) mit großer,
b) mit kleinerer Schreibgeschwindigkeit des Oszillographen.

langsam wiederkehrt und wie die auf die Dreiecksspannung gegen Erde angestiegene Spannung des gesunden Leiters T auf ihren normalen Wert abklingt. Der Anfang des Vorgangs ist nur aus dem Oszillogramm Bild 5a zu ersehen, das mit höherer Geschwindigkeit geschrieben wurde.

Vergleich der beiden angewendeten Meßverfahren zum selbsttätigen Erfassen von Überspannungen

Der besondere Wert der Registrierung mit einem Spitzenspannungsschreiber liegt in der laufenden Erfassung der Überspannungen. Dieses Verfahren liefert also einwandfreie Unterlagen für eine umfassende Statistik der vorkommenden Spitzenwerte der Überspannungen. Mit dem Oszillographen kann man den zeitlichen Verlauf besonders interessierender Vorgänge erfassen, wobei die entsprechende Auswahl durch die Charakteristik des Anregergerätes bestimmt wird. Vergleicht man die mit dem Elektronenstrahl-Oszillographen und dem Überspannungs-Punktschreiber erhaltenen Werte der Überspannungen, so ergeben sich gewisse Unterschiede. Sie können im wesentlichen durch die verschiedenen langen Meßzeiten der beiden Gerätearten geklärt werden.

Im allgemeinen ist zu empfehlen, beide Verfahren zur Netzüberwachung anzuwenden, den Spitzenspannungsschreiber für eine kontinuierliche Erfassung der Höchstwerte und den Elektronenstrahl-Oszillographen zur Erfassung des Zeitverlaufs besonders interessierender Vorgänge.

Betrachtung der Ergebnisse der Messungen vom betrieblichen Standpunkt aus

Vom betrieblichen Standpunkt ergibt die Überspannungsüberwachung mit den erörterten Verfahren erfreulicherweise, daß in den Stationen eines vermaschten Netzes mit ausreichendem Überspannungsschutz hohe Überspannungen sehr selten sind. Bei Gewittereinwirkung bleibt die Überspannung im allgemeinen auf die nähere Umgebung des Entstehungsortes beschränkt. Bemerkenswert ist, daß über einen Zeitraum von 5 Jahren ein höchster Überspannungsfaktor von 4,6 gemessen wurde und daß weiterhin der häufigste Wert etwa bei 1,7 liegt.

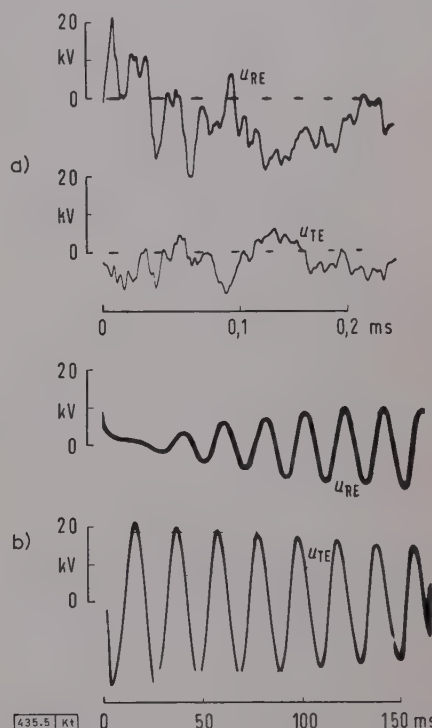


Bild 5. Aufzeichnung zweier Leiter-Erdspannungen bei einem Erdschlußwischer während eines Gewitters.

a) mit großer,
b) mit kleinerer Schreibgeschwindigkeit des Oszillographen.

Die Oszillogramme geben, sofern ein Oszillograph mit schneller und einer mit langsamer Zeitablenkung gleichzeitig verwendet werden, wertvolle zusätzliche Einblicke in den Ablauf aller Arten von Netzvorfällen und gestatten vielfach die Klärung bisher nicht erfassbarer oder nicht erklärbarer Vorfälle.

Der besondere Wert der erörterten Verfahren liegt darin, daß sie an beliebigen Netzstellen ohne Wartung umfangreiche Informationen von Überspannungsvorgängen liefern können. Nur mit solchen Meßverfahren läßt sich ein Netz weitgehend überwachen. Besonders sei hervorgehoben, daß es sich um ein wartungsloses Betriebsmeßverfahren handelt, also nicht um Einzelmessungen mit laboratoriums-mäßigen Mitteln.

Die Auswertung der gespeicherten Informationen gibt wichtige Einblicke einerseits in den Ablauf der ursächlichen Zusammenhänge, andererseits in das Verhalten des Netzes bei Überspannungen. Beide Verfahren können wichtige Erkenntnisse sowohl hinsichtlich der Wirksamkeit des Überspannungsschutzes einschließlich der richtigen Bemessung der Erden als auch der zweckmäßigen Isolationskoordination und anderer eingehender Parameter liefern. Dabei sind für verschiedenartige Netze auch abweichende Ergebnisse in Abhängigkeit von der Änderung der Gesamtheit der jeweils eingehenden Parameter zu erwarten.

Ausblick

Eine weitergehende Anwendung der beschriebenen Verfahren, die eine laufende betriebliche Überwachung des Überspannungsverhaltens der Netze gestatten, ist auf Grund der aufgezählten Ergebnisse wohl wünschenswert. Der Vorstand der Hastra hat daher entschieden, das beschriebene Verfahren in Zusammenarbeit mit der AEG weiter auszubauen. Geplant ist, alle drei Leiter-Erdspannungen zu erfassen und die Zeitablenkung des Elektronen-Oszillographen optimal auszuliegen¹⁾.

¹⁾ Der AEG sei für die Mühe und Arbeit, die sie zur Lösung dieser schwierigen Aufgabe aufgebracht hat, gedankt, ebenso dem Vorstand der Hastra, insbesondere Direktor Clausen, für die verständnisvolle und weitgehende Unterstützung der Versuche. Außerdem gebührt Dank dem Leiter der Betriebsverwaltung Fallingb., Dipl.-Ing. Ohlendorf, sowie Dipl.-Ing. Staub und Hartje, welche die Durchführung der Untersuchungen wirkungsvoll unterstützten.

Zusammenfassung

Über die Verwendung eines Überspannungs-Punktschreibers und eines Elektronenstrahl-Oszillographen zum Registrieren der Überspannungen in einem Mittelspannungsnetz der Hastra wird berichtet. Der Überspannungs-Punktschreiber gestattet eine praktisch stetige Überwachung des Netzes hinsichtlich der auftretenden Überspannungen. Er liefert so umfangreiche Meßergebnisse, daß eine statistische Analyse in verschiedener Hinsicht möglich ist. Der Elektronenstrahl-Oszillograph zeichnete den zeitlichen Verlauf der Leiter-Erdspannungen von besonders bemerkenswerten Vorgängen auf. Er liefert damit einen tieferen Einblick in den Ablauf bisher nicht eindeutig klärbarer Netzvorfälle. Der besondere Wert der Verfahren liegt in der Ausbildung der Meßgeräte als Betriebsmeßeinrichtungen, die gestatten, die Überspannungsvorgänge längere Zeit ohne Wartung an interessierenden Netzstellen zu erfassen.

Erdschlußüberspannungen in einem 110-kV-Netz

Von Theo Engels, München, Werner Waste, Nellingen, und Heinz Zaduk, München*)

DK 621.316.99.015.38 : 621.311.1.027.811

Im 110-kV-Netz des Bayernwerks sind seit Mitte 1957 zwei Magnetband-Störungsschreiber [1] eingebaut, einer in Karlsfeld und einer in Aschaffenburg, welche die Augenblickswerte der drei Leiter-Erdspannungen aufzeichnen. Außerdem sind in fünf Stationen normale Spannungsschnellschreiber vorhanden. Jeder Erdschluß im Netz wird durch Erdschlußwischer-Relais mit Richtungsanzeige einwandfrei erfaßt. Aus den zentral bei der Lastverteilung einlaufenden Meldungen über das Ansprechen der Relais kann die vom Erdschluß betroffene Leitung ermittelt werden. In diesem Beitrag soll im wesentlichen über die Auswertung der von Erdschlüssen aufgenommenen Magnetband-Oszillogramme berichtet werden.

Aufgabenstellung

In der Zeit vom 30. Juli 1957 bis 15. Februar 1960 wurden im 110-kV-Netz der Bayernwerk AG rd. 330 Erdschlüsse mit zwei Magnetband-Störungsschreibern erfaßt. Von etwa 40 % der Erdschlüsse liegen gleichzeitige Aufnahmen von beiden Störungsschreibern vor. Es ergaben sich so für jede der beiden Meßstellen etwa 210 bis 220 aufgenommene Erdschlußvorgänge, die bezüglich der dabei aufgetretenen Überspannungen ausgewertet werden konnten. Dabei wurde unterschieden zwischen den kurzzeitigen Überspannungen, die beim Eintritt des Erdschlusses als Ausgleichsspannungen in den nicht vom Erdfehler betroffenen Leitern als sogenannte Zündschwingungen auftreten, und den daran anschließenden, bis zum Erlöschen des Erdschlußlichtbogens stationär bestehenbleibenden, betriebsfrequenten Spannungen der fehlerfreien Leiter. Es sind, sofern dies möglich war, sowohl die kurzzeitigen Ausgleichsüberspannungen als auch die betriebsfrequenten Spannungen ermittelt worden.

Bei jedem Erdschluß wird der erdgeschlossene Leiter des ganzen Netzes durch eine Wanderwellenschwingung entladen, und die beiden gesunden Leiter werden auf eine höhere Spannung umgeladen. Diese Umladung vollzieht sich im allgemeinen über eine Schwingung mittlerer Frequenz (einige hundert Hertz), der sogenannten Zündschwingung. Nach Willheim und Waters [2] erreicht dann die Überspannung in der dem erdgeschlossenen Leiter nach-eilenden Phase im ungünstigsten Fall, wenn die Zündung des Erdschlusses etwa 20 elektrische Grade nach dem Scheitelwert der Spannung stattfindet, bei Vernachlässigung der Dämpfung den 2,65-fachen Wert des Scheitelwertes der normalen Sternspannung. Dabei ist jedoch nicht die zum Teil beträchtliche Ausdehnung des Netzes und dessen Vermaschung berücksichtigt. In dem Netz des Bayernwerkes mit mehreren tausend Kilometern Freileitungslänge hat die Zündschwingung eine Frequenz von wenig mehr als 50 Hz, so daß der Ausgleichsvorgang hier wesentlich anders

aussieht als in kleineren Netzen. Der Höchstwert der Spannung wird meist erst beim zweiten Scheitelwert der stationären Erdschlußspannung erreicht. Hierbei spielt auch der Zündaugenblick eine Rolle.

Überspannungsfaktoren

Eine diesbezügliche Auswertung der Oszillogramme des Magnetband-Störungsschreibers ergab, wie aus Bild 1 hervorgeht, daß die Zündung in den meisten Fällen nach dem Scheitelwert der Leiter-Erdspannung stattfand. Die in Abhängigkeit vom Zündaugenblick sich ergebenden Spannungshöchstwerte streuen in einem weiten Bereich, weil noch andere Faktoren, z. B. die Entfernung zwischen Fehlerstelle und Meßstelle, diese Höchstwerte beeinflussen. Auffallend ist jedoch der Anstieg der unteren Grenzkurve bei-

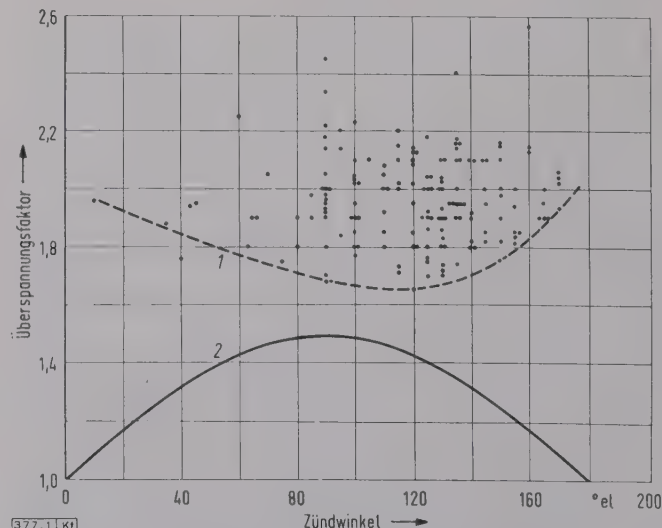


Bild 1. Überspannungsfaktoren für die Meßstelle Karlsfeld in Abhängigkeit vom Zündaugenblick.

- 1 untere Grenzkurve
- 2 Halbschwingung der Leiter-Erdspannung

*) Dipl.-Ing. Th. Engels ist Leiter der Meßgruppe der Bayernwerk AG in München, Dipl.-Ing. W. Waste ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen e. V. in Nellingen ü. Eßlingen a. N., Dr.-Ing. H. Zaduk ist Leiter des wissenschaftlichen Büros der Hauptabteilung Netz der Bayernwerk AG in München.

derseits vom Scheitelwert. Aus allen diesen Gründen ist es interessant, die in einem sehr ausgedehnten Netz tatsächlich auftretenden Erdschluß-Überspannungen festzustellen. Für das Netz des Bayernwerkes ergab sich nun die in Bild 2 wiedergegebene prozentuale Verteilung der Höchstwerte der Ausgleichsschwingungen in den gesunden Leitern.

In Karlsfeld trat bei 27% aller Erdschlüsse eine Überspannung vom 2,0-fachen des Scheitelwertes der Sternspannung am häufigsten auf; als Maximalwert wurde hier eine 2,5-fache Überspannung gemessen, die eine Häufigkeit von 0,5% hatte. Auch in Aschaffenburg, das am nördlichen Netzeende liegt, wurde der Überspannungsfaktor 2,0 mit 23% aller Erdschlüsse am häufigsten gemessen. Als Höchstwert überhaupt trat hier jedoch der Faktor 2,8 mit einer Häufigkeit von ebenfalls 0,5% auf.

Aus dem Vergleich der Aufzeichnungen der beiden Störungsschreiber des jeweils gleichen Erdschlusses ist zu sehen, daß der Einschwingvorgang für beide Meßstellen

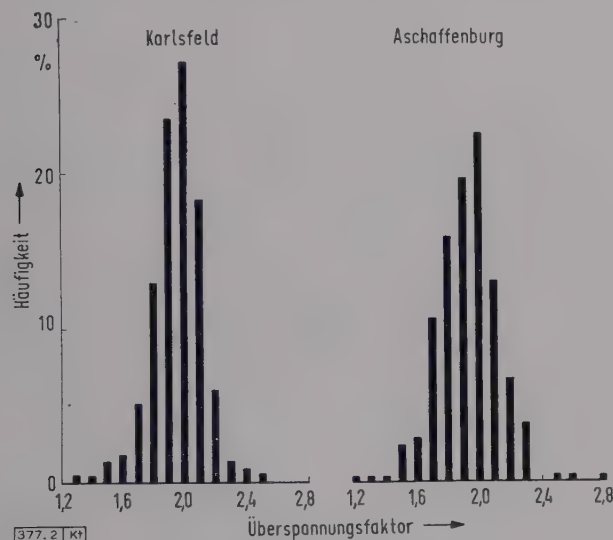


Bild 2. Prozentuale Häufigkeit der Überspannungsfaktoren des Einschwingvorganges bei Erdschluß.

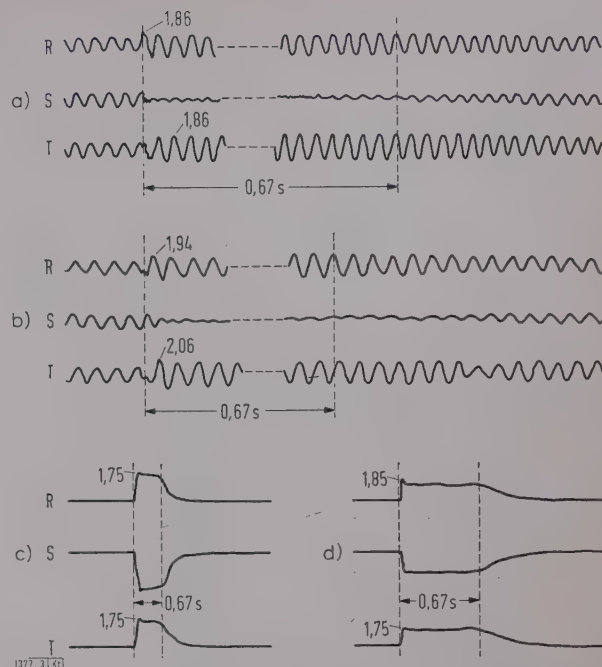


Bild 3. Aufzeichnungen der Leiter-Erdspannungen der Magnetband-Störungsschreiber (a und b) und der Spannungsschnellschreiber (c und d) bei einem Erdschluß des Leiters S. Die Zahlenwerte bezeichnen den jeweiligen Überspannungsfaktor.

- a) Einschwingvorgang an der 70 km von der Fehlerstelle entfernten Meßstelle Aschaffenburg,
- b) Einschwingvorgang an der 293 km von der Fehlerstelle entfernten Meßstelle Karlsfeld,
- c) Leiter-Erdspannungen an der Meßstelle Aschaffenburg.
- d) Leiter-Erdspannungen an der Meßstelle Karlsfeld.

doch recht unterschiedlich sein kann. Ein Beispiel hierfür enthält Bild 3, das die Aufzeichnungen der Magnetband-Störungsschreiber und der Spannungsschnellschreiber für einen Erdschluß des Leiters S auf einer Leitung in der Nähe von Aschaffenburg zeigt. In dem Oszillogramm von der etwa 70 km von der Fehlerstelle entfernten Meßstelle Aschaffenburg sieht man, daß der Überschlag im Scheitelwert der Spannung stattfand, verbunden mit einem voll-

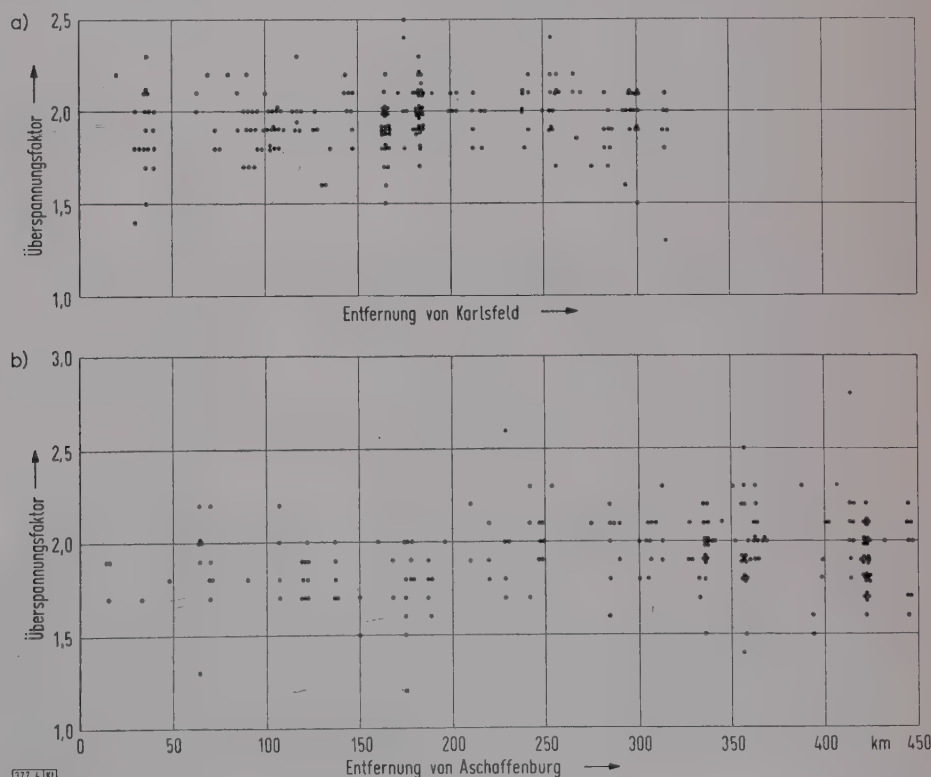


Bild 4. Überspannungsfaktoren der Ausgleichsschwingung bei Eintritt des Erdschlusses, abhängig von der Entfernung zwischen Fehlerstelle und Meßstelle.

- a) Karlsfeld, b) Aschaffenburg.

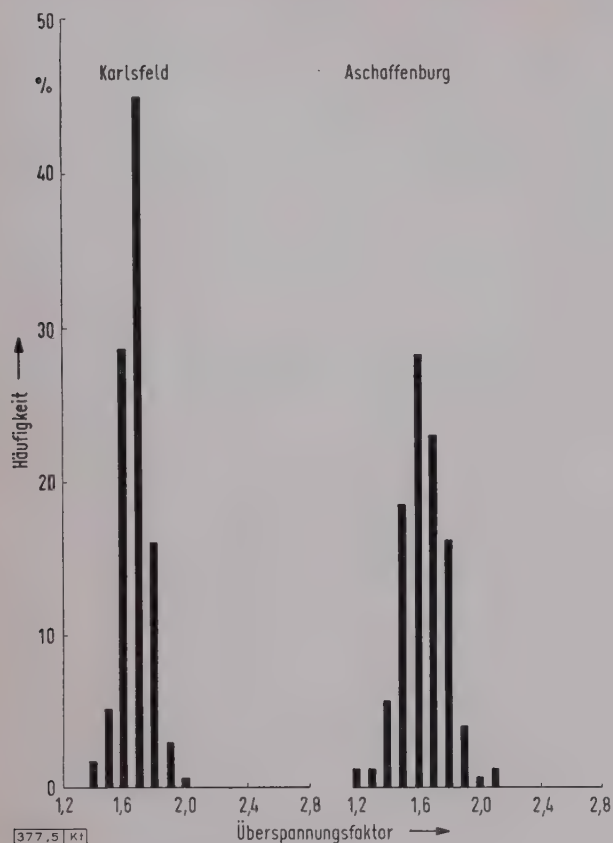


Bild 5. Prozentuale Häufigkeit der Überspannungsfaktoren der stationären Leiter-Erdspannungen bei Erdschluß.

ständigen Zusammenbruch der Leiter-Erdspannung. An der rd. 300 km entfernten Meßstelle in Karlsfeld schwingt dagegen die Spannung des erdgeschlossenen Leiters in einer gedämpften Schwingung auf den stationären Wert ein.

Diese Vorgänge sind in den Aufzeichnungen der Spannungsschnellschreiber natürlich nicht zu sehen. Die Höchstwerte der Ausgleichsspannung in den fehlerfreien Leitern erreichten das 1,86-fache des Scheitelwertes der Sternspannung bei der nahen, und das 2,06-fache bei der entfernten gelegenen Meßstelle. Auch diese Höchstwerte der Erdschlußüberspannungen werden von den Spannungsschnellschreibern nicht richtig erfaßt.

Hiernach war es interessant, der Frage nachzugehen, inwieweit die höchste Amplitude dieser Ausgleichsschwingung

von der Entfernung zwischen Fehlerstelle und Meßstelle abhängt. Da bei jedem Erdschluß die fehlerbehaftete Leitung durch die Anzeige der Erdschlußrichtungsrelais bekannt ist, konnte die maximale Überspannung in Abhängigkeit von der Entfernung des Fehlers für die beiden Meßstellen getrennt ermittelt werden. Als Entfernung wurde die kürzeste Leitungsverbindung von der Meßstelle bis zur Mitte der erdschlußbehafteten Leitung gewählt. Die so erhaltene Abhängigkeit zeigt Bild 4.

Für die Meßstelle Karlsfeld (Bild 4a) ist keine Abhängigkeit des Überspannungsfaktors von der Entfernung ersichtlich; die Überspannungen streuen bei allen Entfernungen zwischen dem etwa 1,3- und 2,3-fachen des Scheitelwertes der Sternspannung. Bei 175 und 255 km tritt jeweils einmal ein Überspannungsfaktor von 2,4 auf; der Höchstwert mit 2,5 ergab sich bei 175 km in der Gegend von Nürnberg.

Für die Meßstelle Aschaffenburg (Bild 4b) ist eine — wenn auch geringe — Zunahme der Überspannungen des Einschwingvorganges mit der Fehlerentfernung ersichtlich. Der Mittelwert des Überspannungsfaktors liegt bei Entfernungen bis etwa 200 km bei 1,75 bis 1,85, bei größeren Entfernungen um etwa 2,0. Außerdem traten die höchsten Werte überhaupt nur bei Erdschlüssen in weiterer Entfernung von der Meßstelle Aschaffenburg auf; der höchste Wert betrug 2,8 bei 315 km, das ist südlich Kochel.

Die von M. Erche bei Messungen der Einschwingüberspannungen bei Erdschluß kompensierter 110-kV-Netze am Schwingungsmodell erhaltenen Höchstwerte von 3,3 und — für ein kleineres 110-kV-Netz — 3,0, worüber in einem VDE-Fachbericht [3] berichtet wurde, wurden im 110-kV-Netz des Bayernwerkes bisher also nicht erreicht.

Die Höhe der stationären betriebsfrequenten Spannungserhöhungen der fehlerfreien Leiter während des Erdschlusses wird im wesentlichen von dem Verhältnis der Nullimpedanz zur Mitimpedanz am Fehlerort bestimmt. In gelöschten Netzen kann dabei der Wert der Dreiecksspannung überschritten werden.

Die Auswertung der Magnetband-Oszillogramme umfaßte für beide Meßstellen jeweils rd. 175 Oszillogramme, weil hierfür nur die länger dauernden Erdschlüsse, nicht aber die kurzen Erdschlußwischer herangezogen werden konnten. Es ergab sich dabei die in Bild 5 dargestellte Häufigkeitsverteilung der höchsten Überspannungsfaktoren der stationären Spannungen gegen Erde der gesunden Leiter während des Erdschlusses.

In Karlsfeld traten die Überspannungsfaktoren 1,6 bis 1,8 weitaus am häufigsten auf; der Wert 1,7 war sogar bei nahezu der Hälfte aller Erdschlüsse vorhanden. Der maxi-

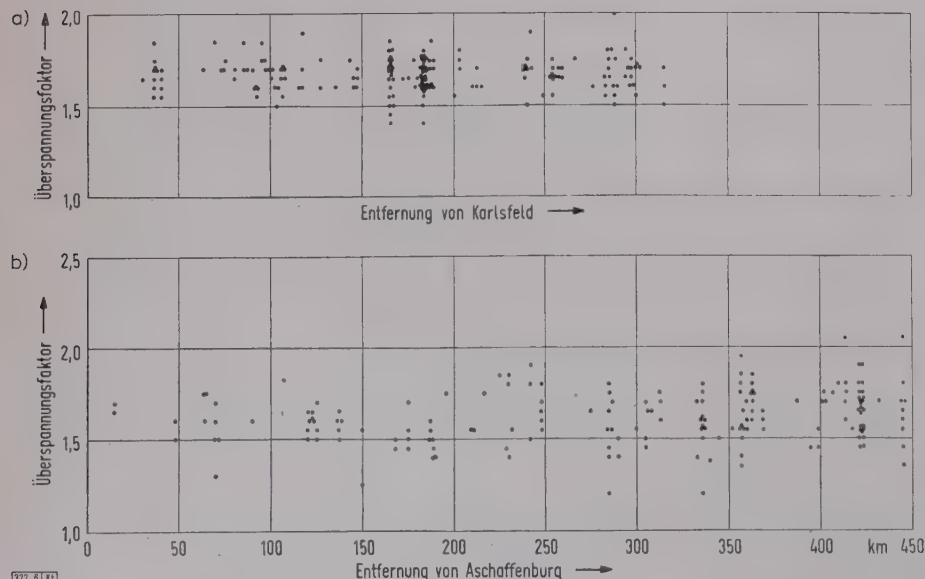


Bild 6. Überspannungsfaktoren der betriebsfrequenten Leiter-Erdspannungen während des Erdschlusses, abhängig von der Entfernung zwischen Fehler- und Meßstelle.

a) Karlsfeld, b) Aschaffenburg

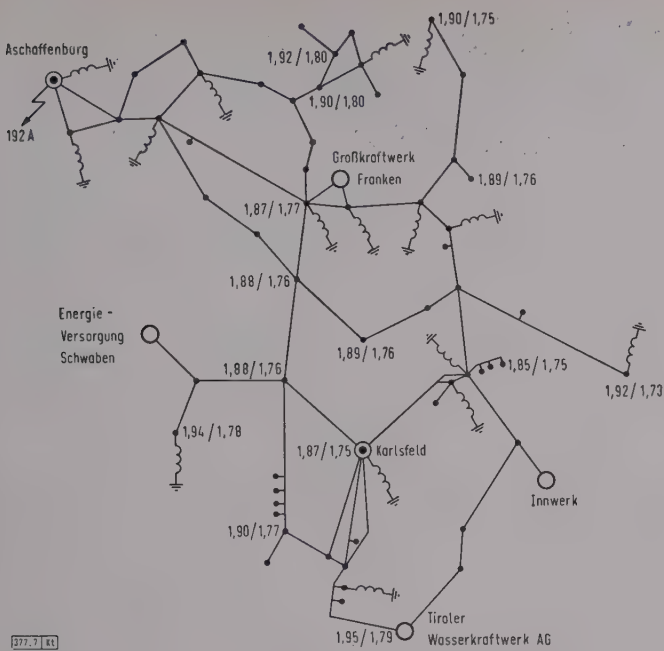


Bild 7. Am Netzmodell gemessene Werte der stationären Leiter-Erdspannungen der beiden fehlerfreien Leiter bei einem Erdschluß in Aschaffenburg als Vielfaches der Leiter-Erdspannung des gesunden Netzes. Es bedeutet z. B. 1,90/1,80, daß die Spannung des einen fehlerfreien Leiters das 1,9-fache, die des anderen das 1,8-fache der Leiter-Erdspannung des gesunden Netzes beträgt.

male Wert betrug 2,0. In Aschaffenburg waren die Überspannungsfaktoren 1,5 bis 1,8 die häufigsten, der Wert 1,6 trat bei fast 30 % aller Erdschlüsse auf. Kleinere Werte bis herab zu 1,2 und größere bis hinauf zu 2,1 waren sehr selten.

Auch bei diesen betriebsfrequenten Spannungen der fehlerfreien Leiter wurde die Abhängigkeit der Höchstwerte von der Entfernung des Fehlers von der Meßstelle untersucht. Die Ergebnisse sind in Bild 6 dargestellt. Für die Meßstelle Karlsfeld ist auch hier keine Tendenz ersichtlich; die beiden Werte mit 1,9 traten bei Erdschlüssen in 120 km und 240 km, der höchste Wert mit 2,0 in 290 km Entfernung von der Meßstelle auf. Für Aschaffenburg zeigte sich wieder eine geringe Zunahme der Spannungen bei Erdschlüssen in weiter Entfernung von der Meßstelle. Die beiden höchsten Werte von 2,1 ergaben sich bei Erdschlüssen in 415 und 445 km Entfernung.

Meßergebnisse bei verschiedenen Erdschlußfällen

Anläßlich einer Netzmodelluntersuchung, bei der das gesamte Bayernwerk-Netz nach dem Verfahren mit symmetrischen Komponenten nachgebildet war, wurden auch einige Erdschlußfälle durchgemessen. In Bild 7 sind z. B. die stationären Erdschlußüberspannungen im Netz bei einem Erdschluß in Aschaffenburg als Vielfache der Leiter-Erdspannungen des fehlerfreien Netzes angegeben. Die Abstimmung auf Resonanz wurde in Karlsfeld durchgeführt. Als höchste stationäre Spannungen der gesunden Leiter wurden

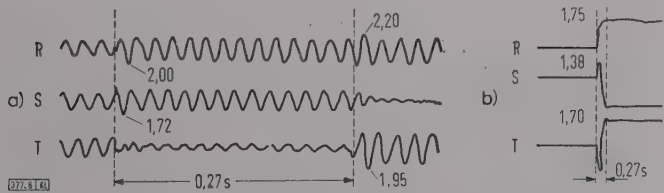


Bild 8. Aufzeichnungen der Leiter-Erdspannungen a) des Magnetband-Störungsschreibers und b) eines Spannungsschnellschreibers bei einem Erdschluß des Leiters T mit Übergang in Doppelerdschluß der Leiter S und T. Die Zahlenwerte bezeichnen den jeweiligen Überspannungsfaktor. a) Einschwingvorgang an der 70 (Leiter T) bzw. 411 km (Leiter S) von den Fehlerstellen entfernten Meßstelle in Aschaffenburg, b) Leiter-Erdspannungen an der Meßstelle Aschaffenburg.

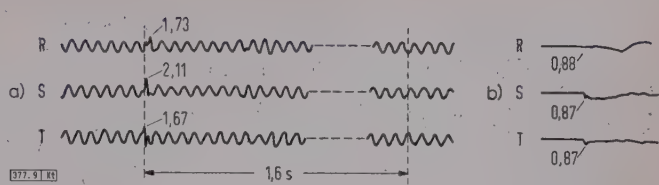


Bild 9. Aufzeichnungen der Leiter-Erdspannungen a) des Magnetband-Störungsschreibers und b) eines Spannungsschnellschreibers bei einem dreipoligen Kurzschluß. Die Zahlenwerte bezeichnen den jeweiligen Überspannungsfaktor.

a) Einschwingvorgang an der 141 km von der Fehlerstelle entfernten Meßstelle in Aschaffenburg, b) Leiter-Erdspannungen an der Meßstelle Aschaffenburg.

an den von der Erdschlußstelle am weitesten entfernten Punkten des Netzes der 1,90- bis 1,95-fache Wert der Leiter-Erdspannung des gesunden Netzes gemessen. Die Spannung des erdgeschlossenen Leiters betrug an diesen Stellen bis zu 15 % der normalen Leiter-Erdspannung. Bei einem Erdschluß in Hof lagen die höchsten Überspannungsfaktoren der stationären Erdschlußüberspannungen bei 2,0 bis 2,1. Diese Meßergebnisse stimmen also mit den tatsächlichen im Netz gemessenen Höchstwerten gut überein.

Bei allen bisher erfaßten Doppelerdschlüssen beginnt der Fehler immer mit einem einfachen Erdschluß, dem nach einer gewissen Zeit der zweite Fehler folgt. Das heißt, der zweite Überschlag findet nicht unmittelbar mit dem Auftreten der höchsten Überspannung während der Ausgleichsschwingung statt. Die kürzeste Zeit für den Übergang von Erdschluß in Doppelerdschluß betrug bisher rd. 20 ms.

Bild 8 zeigt ein solches Oszillogramm des Magnetband-Störungsschreibers in Aschaffenburg. Es zeigt den Vorgang bei einem Erdschluß des Leiters T, der kurz nach dem Scheitelwert der Spannung zündete. Die Fehlerstelle lag auf einer Leitung in rd. 70 km Entfernung von der Meßstelle. Zwei Halbschwingungen später fand ein Überschlag im Leiter S an einem Schalter im rd. 400 km entfernten Kraftwerk Obernach statt. Nach 0,27 s wurde der Fehler im Leiter T abgeschaltet und es verblieb der Erdschluß im Leiter S. Leider liegt ein Oszillogramm des Magnetband-Störungsschreibers in Karlsfeld nicht vor, so daß nicht festgestellt werden kann, wie hoch die Überspannung an der zweiten Fehlerstelle gewesen ist.

Bild 9 zeigt das Oszillogramm des seltenen Falls eines dreipoligen Kurzschlusses ohne Erdberührung. Die Fehlerstelle lag rd. 140 km von der Meßstelle entfernt. Durch Sturm wurde eine kreuzende 110-kV-Einphasenleitung gegen die 110-kV-Leitung getrieben und führte zu Überschlägen zwischen den Leitern. Die hierbei aufgetretenen Überspannungen bis zum 2,1-fachen des Scheitelwertes der Stern-

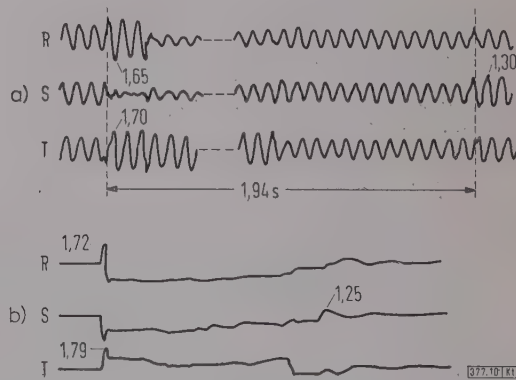


Bild 10. Aufzeichnungen der Leiter-Erdspannungen a) des Magnetband-Störungsschreibers und b) eines Spannungsschnellschreibers bei einem Erdschluß mit Übergang in einen dreipoligen Kurzschluß. Die Zahlenwerte bezeichnen den jeweiligen Überspannungsfaktor.

a) Einschwingvorgang an der 73 km von der Fehlerstelle entfernten Meßstelle in Karlsfeld, b) Leiter-Erdspannungen an der Meßstelle Karlsfeld.

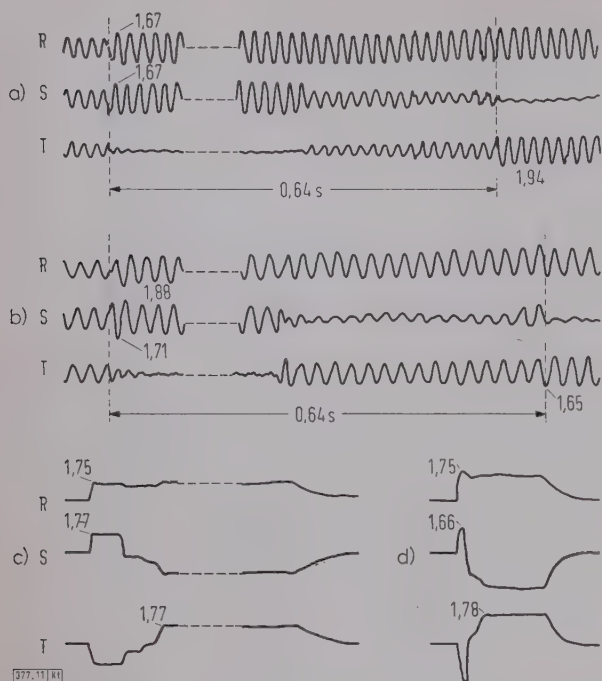


Bild 11. Aufzeichnungen der Leiter-Erdspannungen a) und b) der Magnetband-Störungsschreiber c) und d) und der Spannungsschnellschreiber bei einem Erdschluß mit Übergang in Doppelerdschluß. Die Zahlenwerte bezeichnen den jeweiligen Überspannungsfaktor.

- a) Einschwingvorgang an der 81 (Leiter S) bzw. 37 km (Leiter T) von den Fehlerstellen entfernten Meßstelle Karlsfeld,
 b) Einschwingvorgang an der 360 (Leiter S) bzw. 364 km (Leiter T) von den Fehlerstellen entfernten Meßstelle Aschaffenburg,
 c) Leiter-Erdspannungen an der Meßstelle Karlsfeld,
 d) Leiter-Erdspannungen an der Meßstelle Aschaffenburg.

spannung sind von den Spannungsschnellschreibern nicht aufgezeichnet worden.

Bild 10 zeigt einen Erdschluß, der in einen dreipoligen Kurzschluß übergeht. Die Störung begann mit einem Erdschluß im Leiter S im Scheitelwert der Spannung. Die Fehlerstelle lag an einem Durchführungs-Stromwandler im Walchensee-Kraftwerk. Nach 0,05 s ging der Erdschluß in einen Doppelerdschluß R—S und nach 1,6 s in einen dreipoligen Sammelschienen-Kurzschluß über, der nach weiteren 0,3 s abgeschaltet wurde.

Bild 11 schließlich zeigt den Übergang eines Erdschlusses in einen Doppelerdschluß. Die Störung begann mit einem Erdschluß des Leiters T auf einer Leitung Kochel-Karlsfeld. Ein Bagger berührte hier das untere Leiterseil. Nach 0,3 s ging der Erdschluß in Doppelerdschluß T—S über. Die zweite Fehlerstelle lag an einem Überspannungsableiter im Kraftwerk Niederaichbach, das rd. 120 km von der ersten Fehlerstelle entfernt ist. Der Fehler im Leiter S trat kurz nach dem Scheitelwert der Spannung ein. Nach 0,18 s wurde die Fehlerstelle im Leiter T in Karlsfeld und nach weiteren 0,13 s auch in Kochel abgeschaltet. Der im Leiter S be-

stehende Erdschluß erlosch nach 1,8 s durch Explosion des Ableiters von selbst.

Der Spannungsschnellschreiber in Karlsfeld zeigte ebenfalls zuerst den Erdschluß im Leiter T, dann den Doppelerdschluß T-S, das stufenweise Abschalten des Doppelerdschlußstromes und das Verbleiben des Erdschlusses im Leiter S. Ein Grund für das Ansprechen des Ableiters lag hier eigentlich nicht vor, da seine Ansprechwechselspannung etwa das 2,2-fache der Dreiecksspannung beträgt, während die gemessenen Überspannungen das 1,1-fache der Dreiecksspannung nicht überschritten haben.

Zusammenfassend läßt sich als Ergebnis zweieinhalbjähriger Registrierung von Erdschlußvorgängen feststellen, daß die Höchstwerte der Ausgleichsspannungen der fehlerfreien Leiter beim Einschwingvorgang maximal das 2,8-fache des Scheitelwertes der Sternspannung, die Höchstwerte der stationären betriebsfrequenten Spannungen das 2,1-fache der Sternspannung nicht überschritten haben. Die Erdschluß-Überspannungen waren also bisher nicht so hoch, als daß Ableiter hätten ansprechen dürfen, was aber in einer Reihe von Fällen vorgekommen ist.

Zusammenfassung

Mit zwei im 110-kV-Netz des Bayernwerkes eingebauten Magnetband-Störungsschreibern wurden in etwa zweieinhalb Jahren rd. 330 Oszillogramme von Erdschlußvorgängen aufgenommen. Die Auswertung ergab, daß die Erdschlüsse in der Mehrzahl nach dem Scheitelwert der Sternspannung eintraten. Durch die Ausgleichsschwingung, die sich hierbei ausbildet, erreichte die Spannung der nicht fehlerhaften Leiter gegen Erde maximal den 2,8-fachen Scheitelwert der Sternspannung des gesunden Netzes. Die Höhe dieser Ausgleichsspannung wird vom Zündaugenblick und der Entfernung der Fehlerstelle von der Meßstelle mitbestimmt. Die höheren Werte traten bei Erdschlüssen in größerer Entfernung von der Meßstelle auf. Als höchste stationäre Spannung gegen Erde an einem gesunden Leiter während des Erdschlusses wurde die 2,1-fache Sternspannung bei einem von der Meßstelle weit entfernten Fehler gemessen.

Die Oszillogramme, die mit dem Magnetband-Störungsschreiber von Kurzschlüssen mit Erdberührung, Doppelerdschlüssen und Mehrfachfehlern aufgenommen wurden, zeigten deutlich, daß alle diese Fehler mit einem einpoligen Erdschluß begonnen haben. Die bisher gemessenen Erdschluß-Überspannungen waren nicht so hoch, daß die Ableiter hätten ansprechen dürfen; dies ist aber in einigen Fällen vorgekommen.

Schrifttum

- [1] Baatz, H., u. Maier, H.: Magnetbandschreiber zur Störungsaufzeichnung in Energieversorgungsnetzen. Elektronik Bd. 6 (1957) S. 51–56.
- [2] Willheim, R., u. Waters, M.: Neutral grounding in high-voltage transmission. Verlag Elsevier Publishing Company, New York und London 1956.
- [3] Erche, M.: Untersuchung über die Entstehung hoher Erdschluß-Überspannungen in gelöschten oder mit freiem Sternpunkt betriebenen Hochspannungsnetzen. VDE-Fachber. Bd. 20 (1958) S. 52–60.

26. September bis 1. Oktober 1960

51. Hauptversammlung des VDE in Dortmund

Haben Sie sich schon zur Teilnahme gemeldet?

Anfragen und Anforderungen von Programmheften können gerichtet werden an den

Elektrotechnischen Verein des Rheinisch-Westfälischen Industriebezirkes e.V. Essen,
 Dortmund, Ostwall 51, Zimmer B 102.

Dem Programmheft liegen die notwendigen Formulare für die Anmeldung bei.

Betriebsmäßige Registrierung von Schaltüberspannungen, insbesondere nach einem neuartigen Meßverfahren

Von Heinz Wurz, Berlin*)

DK 621.3.082.74 : 621.3.083.722

Überspannungen bei Hochspannungsnetzen treten nicht nur infolge atmosphärischer Störungen, sondern auch bei Schaltvorgängen auf, die in vielen Fällen zur Schadensbildung und sogar zur Zerstörung von Schaltanlagenteilen führen können. Vorteilhaft zur Beurteilung von Schadensursachen ist die Aufzeichnung dieser Überspannungen durch ein Meßgerät, worüber nachstehend berichtet wird.

Das 110-kV-Netz der Bewag

Das 110-kV-Netz der Bewag dient zur Zeit dem innerstädtischen Verbundbetrieb der fünf Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von rd. 600 MW.

Bild 1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des Netzes, bestehend aus Freileitungen und Kabeln. Die Art der Darstellung ist lediglich zur Erläuterung der hochspannungstechnischen Gesichtspunkte gewählt worden. Die gegenwärtige Freileitungslänge ist 36 km und die gesamte Kabellänge 70 km. Die gesamte Ladeleistung des Netzes beträgt 74 MVar, entsprechend einem Ladestrom von 380 A. Wenn auch im Augenblick aus Gründen der Betriebssicherheit zwei etwa gleich große galvanisch getrennte Netze betrieben werden, ist doch vorgesehen, das gesamte Netz zumindest gelegentlich galvanisch verbunden zu betreiben.

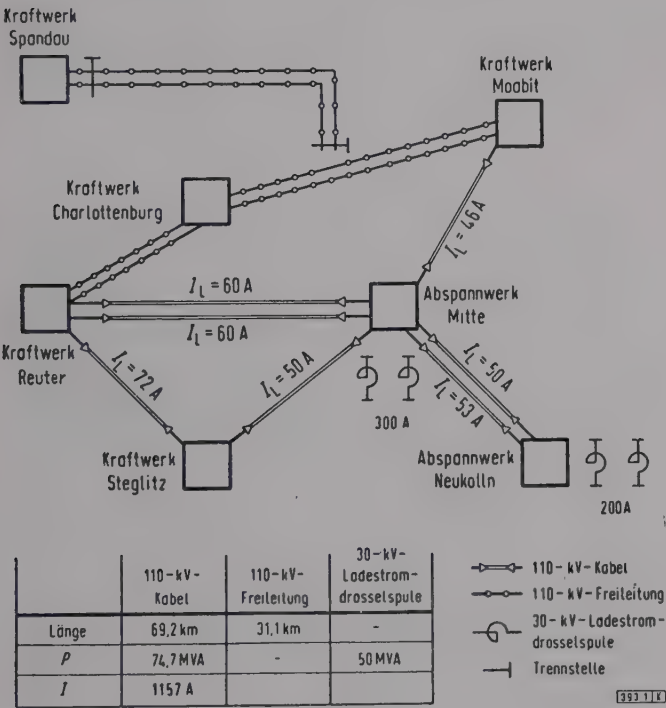


Bild 1. Prinzipialschaltplan des 110-kV-Kabel- und Freileitungs-Netzes der Bewag.

Die hohe Ladeleistung des Netzes ist zu Schwachlastzeiten für den stabilen Verbundbetrieb hinderlich, und aus diesem Grunde sind an den bezeichneten zwei Netzpunkten jeweils zwei Ladestromdrosselspulen für eine Blindleistung von 10 bzw. 15 MVar eingesetzt. Aus naheliegenden Gründen wird die Kompensation der Ladeleistung nicht auf der 110-kV-Seite, sondern auf der 30-kV-Seite der Stationstransformatoren vorgenommen.

*) Dipl.-Ing. H. Wurz ist Leiter des Elektrotechnischen Laboratoriums der Berliner Kraft- und Licht(Bewag)-AG, Berlin. Die Schaltversuche hat J.-D. von Petzinger und die Entwicklung des beschriebenen Registrierverfahrens Dipl.-Ing. R. Leopold im Elektrotechnischen Laboratorium der Bewag durchgeführt.

In dem hier interessierenden Sinne sind also die beiden klassischen Schaltzustände gegeben, bei denen Schaltüberspannungen auftreten können, und zwar (Bild 2)

1. beim Schalten einer Kapazität, dargestellt durch das 110-kV-Kabel und
2. beim Schalten einer Induktivität, nämlich der 30-kV-Ladestromdrosselspule.

Schaltversuche

Inwieweit durch vorteilhafte Wahl der Schaltgeräte und zweckmäßige Anlagenausstattung den zu erwartenden Schaltüberspannungen mit ausreichender Sicherheit und Zuverlässigkeit begegnet worden ist, wurde durch Schaltversuche

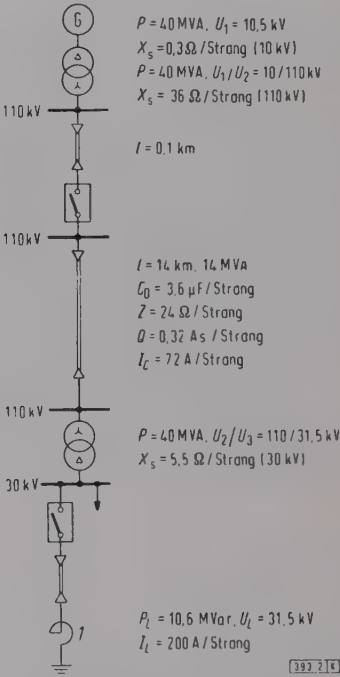


Bild 2. Prinzipschaltung und elektrische Werte des 110-kV-Netzes (vereinfachter Schaltzustand).

1 Ladestromdrosselspule

nachgeprüft. Diese Schaltversuche und spätere Betriebsergebnisse haben die Zweckmäßigkeit der Verwendung von Überspannungs-Registrierereinrichtungen und die Anforderungen an diese erkennen lassen.

Der vorliegende Beitrag behandelt nur die in diesem Sinne beispielhaften Vorgänge unter Verzicht, sie in geräte- und anlagentechnischer Hinsicht zu analysieren. Aus diesem Grunde sind auch die Bild Darstellungen vereinfacht ausgeführt und Einzelheiten nur so weit dargestellt, wie es zum Verständnis des so eingeschränkten Themas notwendig erschien.

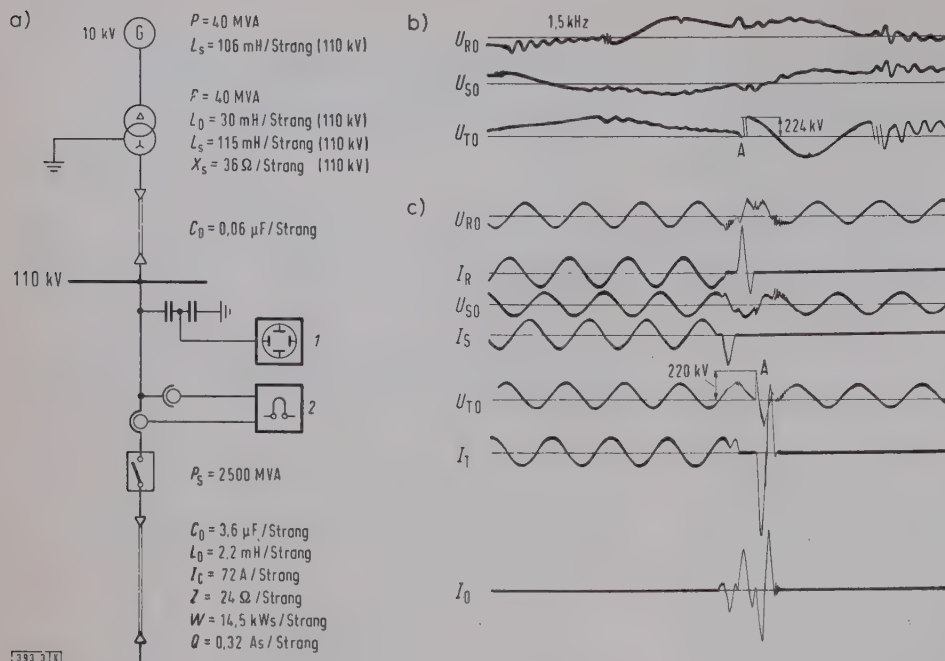


Bild 3. Abschaltoszillogramme eines leerlaufenden 110-kV-Kabels mit einem ölarmen Schalter.

- a) Teil eines Netzes mit Kabel zwischen Speisetransformator und Schalter,
 b) Spannungsozillogramm mit Kathodenstrahl-Ozillograph aufgenommen,
 c) Spannungs- und Stromoszillogramm mit einem Schleifenzosillograph aufgenommen.

1 Kathodenstrahl-Ozillograph
 2 Schleifenzosillograph

Abschalten leerlaufender Kabel

In Bild 3 sind der grundsätzliche Schaltzustand der Anlage, ihre kennzeichnenden Werte und der Anschluß der Meßgeräte für die Abschaltung eines leerlaufenden Kabels dargestellt. Die aufgenommenen Oszillogramme zeigen den Verlauf eines Abschaltvorganges mit einem 2500-MVA-Leistungsschalter. Bemerkenswert ist die Rückzündung (Bild 3b) während der Schaltstiftbewegung des Schalterpoles T zum Zeitpunkt A. Die Leiter-Erdspannung stieg dabei auf einen Scheitelwert von 224 kV an, die sowohl vom Schleifen- als auch vom Kathodenstrahl-Ozillographen gut übereinstimmend aufgezeichnet wurde. Die Frequenz des Einschwingvorganges der Leiter-Erdspannung mit dem verhältnismäßig niedrigen Wert von $1,5 \text{ kHz}$ ist durch die Kapazität des kurzen Kabelstückes zwischen dem Transformator und der 110-kV-Sammelschiene sowie durch die Induktivitäten des Generators und des Transformators bestimmt.

An einer anderen Netzstelle (Bild 4) waren zwischen der Speisequelle und dem abzuschaltenden Kabel nur kapazitätsarme Sammelschienenverbindungen vorhanden. Die

charakteristischen elektrischen Werte sind neben den jeweiligen Schaltsymbolen vermerkt. In den Oszillogrammen des Abschaltvorganges wurde der Scheitelwert der Schaltüberspannung mit 230 kV festgestellt bei einer Einschwingfrequenz von 6 kHz . Auch dieser Vorgang mit einer höheren Frequenz als in Bild 3 ist von beiden Ozillographen in guter Übereinstimmung aufgezeichnet worden.

Abschalten von Ladestromdrosselspulen

In Bild 5 sind die grundsätzliche Schaltung für den Abschaltvorgang einer induktiven Last (Ladestromdrosselspule für 10 MVar Blindleistung und 30 kV Spannung) mit einem Luftschalter und die Oszillogramme des Abschaltvorganges gezeigt. Diese Drosselspule und das angeschlossene Zuleitungskabel bestimmen die Einschwingfrequenz, die mit $1,9 \text{ kHz}$ gemessen wurde. In den Oszillogrammen wurde auf der Drosselspulenseite eine Leiter-Erdspannung mit dem Scheitelwert von 120 kV aufgezeichnet, während auf der Anlagenseite keine bemerkenswerten Schaltüberspannungen auftraten.

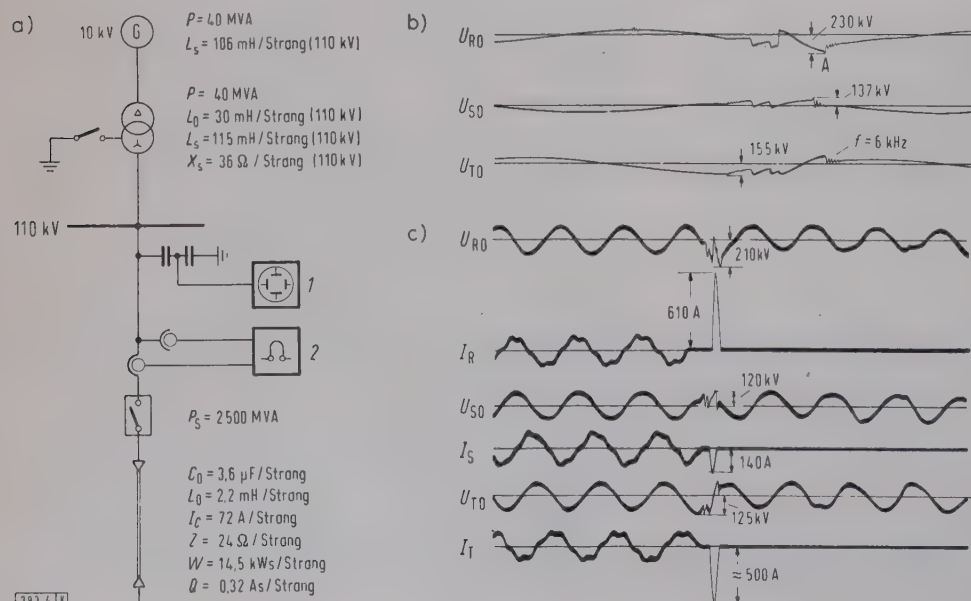


Bild 4. Abschaltoszillogramm eines leerlaufenden 110-kV-Kabels.

- a) Teil eines Netzes ohne Kabel zwischen Speisetransformator und Schalter,
 b) Spannungsozillogramm mit Kathodenstrahl-Ozillograph aufgenommen,
 c) Spannungs- und Stromoszillogramm mit Schleifenzosillograph aufgenommen.

1 Kathodenstrahl-Ozillograph
 2 Schleifenzosillograph

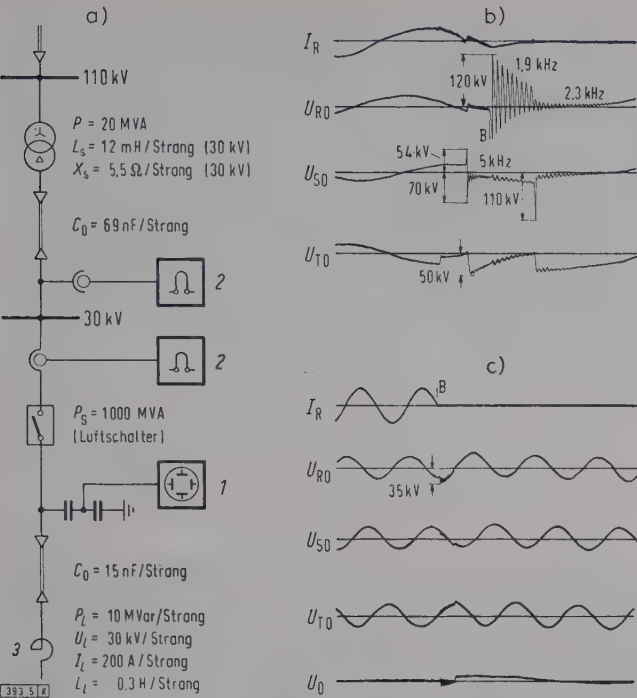


Bild 5. Abschaltoszillogramm einer 30-kV-Ladestromdrosselspule mit Luftschalter ohne Überspannungsableiter.

- a) Teil eines Netzes mit Meßstellen,
b) Spannungs- und Stromoszillogramm mit Kathodenstrahl-Oszillograph auf der Spulenseite aufgenommen,
c) Spannungs- und Stromoszillogramm mit Schleifenoszillograph auf der Netzseite (Sammelschiene) aufgenommen.
- 1 Kathodenstrahl-Oszillograph
2 Schleifenoszillograph
3 Ladestromdrosselspule

Auf Grund dieser Versuchsergebnisse glaubte man, den Betrieb in der in Bild 6 skizzierten Anordnung aufnehmen zu können. Kurze Zeit nach der Inbetriebnahme ereignete sich ein Schaden, der folgenden Ablauf und folgende Erklärung gefunden hat:

Unmittelbar nachdem die Ladestromdrosselspule stromlos geworden war, trat an der Spulenerdkapazität eine beachtliche hohe Ladespannung U_{R0} auf, wie das Kathodenstrahl-Ozillogramm beispielsweise in Bild 5 b (Zeitpunkt B) zeigt, welche die entsprechende Schaltstrecke im Leiter R bis zum nochmaligen Durchschlag beanspruchte. Dadurch entstand auf der rd. 35 m langen freien Sammelschiene eine Wanderwelle. Da die Sammelschiene nur eine kleine Erdkapazität hat, wurde an ihrem Ende die Wanderwellenspannung verdoppelt, und es entstand dadurch ein Überschlag an der Sammelschiene mit Kurzschlußfolgen. Der Stoßüberschlag am Ende der Sammelschiene ist als Folgeerscheinung der hohen mittelfrequenten Einschwingspannung der

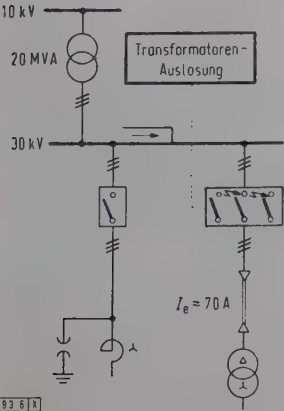


Bild 6. Störungsvorgänge als Folge von Schaltüberspannungen.
1 Ladestromdrosselspule

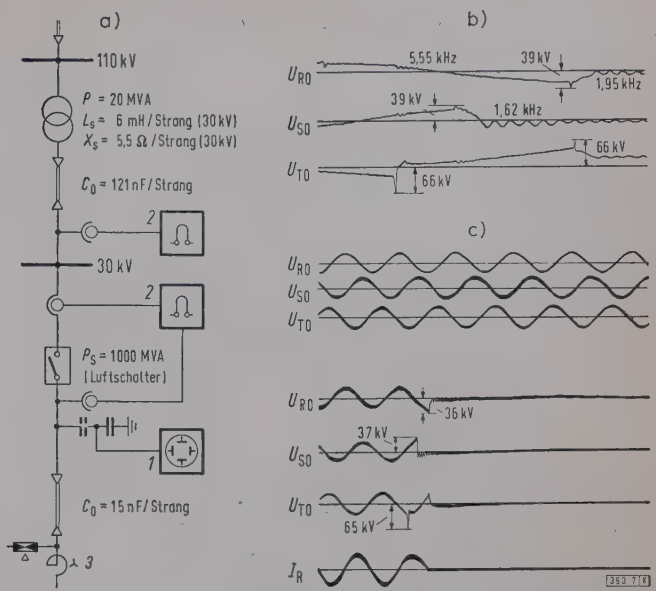


Bild 7. Abschaltoszillogramm einer 30-kV-Ladestromdrosselspule mit Luftschalter bei eingebautem Überspannungsableiter.

- a) Teil eines Netzes mit Meßstellen,
b) Spannungsozillogramm mit Kathodenstrahl-Oszillograph auf der Spulenseite aufgenommen,
c) Spannungs- und Stromoszillogramm mit Schleifenoszillograph aufgenommen; oben Spannungen auf der Netzseite (Sammelschiene), unten Spannungen auf der Spulenseite.

Ladestromdrosselspule anzusehen. Damit solche hohen Einschwingspannungen verhindert werden, wurden Ventilableiter zwischen die Anschlußklemmen der Ladestromdrosselspule geschaltet.

Die Schaltung der Ladestromdrosselspule und die Oszillogramme der danach unternommenen Ausschaltversuche sind in Bild 7 dargestellt. Ursprünglich vorgesehene Ableiter zwischen Sammelschiene und Erde haben sich nach zweijährigem Betrieb als entbehrlich erwiesen.

Die Abschaltung einer induktiven Last mit einer Stromstärke von 290 A durch einen ölarmen Leistungsschalter unter den in Bild 8 dargestellten Bedingungen geschah, wie die Oszillogramme ausweisen, mit einer Einschwing-Scheitelspannung zwischen den Leitern von 51 kV bei einer Frequenz von 4,5 und 6 kHz. In der leider trügerischen Hoffnung, die Ein- und Ausschaltvorgänge hätten keine ge-

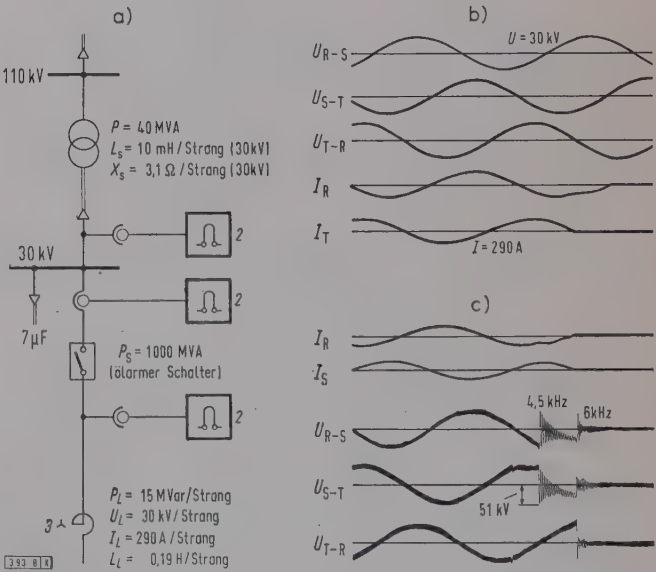


Bild 8. Abschaltoszillogramm einer 30-kV-Ladestromdrosselspule mit Luftschalter ohne Überspannungsableiter.

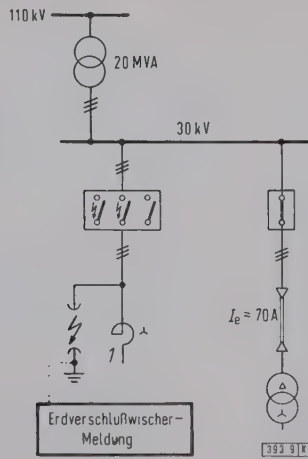


Bild 9. Überschlag an der Pegelfunkstrecke als Folge von Schaltüberspannungen.
1 Ladestromdrosselspule

fährlichen Überspannungen zur Folge, ist die Anlage in Betrieb genommen worden. Etwa 100 betriebsmäßige Ausschaltungen verliefen tatsächlich ohne Schwierigkeiten. Nach etwa einjährigem Betrieb trat die in Bild 9 dargestellte Störung ein. Die an der Spule zwischen dem Leiter T und der Erde angebrachte Pegelfunkstrecke schlug mit einer kleinen Leistung über. An ihr müssen also wesentlich höhere Spannungen aufgetreten sein als diejenigen, die man auf Grund der Versuche erwartet hatte. Der Vorgang ist folgendermaßen zu erklären:

Der Effektivwert der Einschwingspannung der Spule hat mindestens 90 kV betragen. Er trat auf, als der Schalter T endgültig stromlos wurde. Die noch brennenden Lichtbögen zwischen den Kontakten der Schalterpole R und S stellten für die Spule noch eine Verbindung nach Erde über

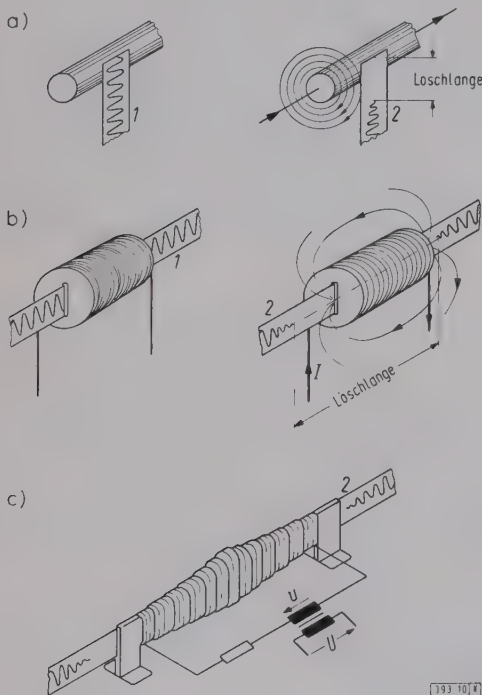


Bild 10. Verschiedene Anordnungen zum Löschen der Tonspur auf Magnettonträgern.

- Entmagnetisierung durch stromdurchflossenen Leiter,
- Entmagnetisierung durch stromdurchflossene Spule,
- Entmagnetisierung durch stromdurchflossene Spule, die über einen Spannungswandler gespeist wird.

1 Tonspur vor dem Entmagnetisieren
2 Tonspur nach dem Entmagnetisieren

das angeschlossene Kabelnetz dar. Hierdurch wurde die hohe Einschwingspannung des im Leiter T befindlichen Zweiges der Ladestromdrosselspule nach Erde wirksam und durchschlug die zwischen Leiter und Erde geschaltete Pegelfunkstrecke. Der Überschlag geschah mit der durch den Erdschlußstrom von 70 A des 30-kV-Netzes bestimmten kleinen Leistung.

Einsatz von Registriergeräten

Mit dem zuletzt beschriebenen Störungsvorgang ist überzeugend bewiesen, daß gelegentlich Schaltvorgänge völlig anders ablaufen, als man sie auf Grund von wenigen Versuchsschaltungen mit großem meßtechnischen Aufwand erwarten würde. Im vorliegenden Fall hat die Pegelfunkstrecke die Funktion eines Registriergerätes übernommen und die Aufklärung der Störung ermöglicht, die wahrscheinlich bei einem Geräteschaden keine Aufklärung gefunden hätte. In solchen Fällen bliebe es immer strittig, ob eine

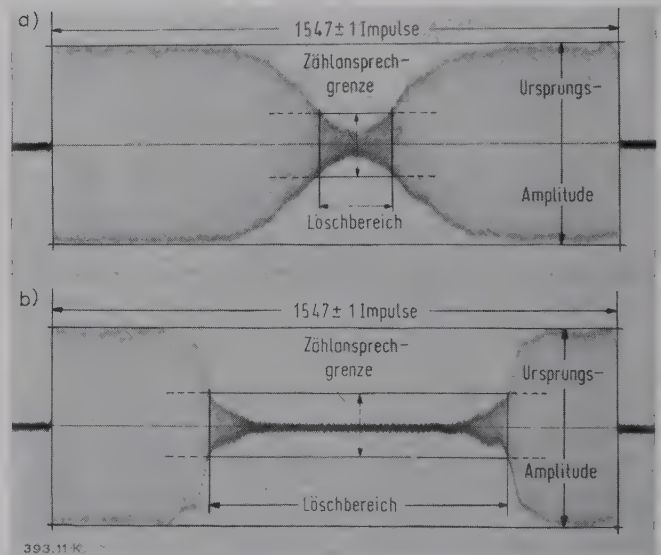


Bild 11. Löschlänge der Tonspur auf dem Magnettonträger bei verschiedenen Entmagnetisierungsströmen.

a) bei kleinem Strom b) bei großem Strom

mangelhafte Isolation oder eine ungewöhnlich hohe Schaltüberspannung die Schadensursache gewesen wäre. Da es nicht zu übersehen ist, wann und wo Vorgänge auftreten, die aufgeschrieben werden sollen, ergeben sich folgende Forderungen, die allgemein auch an die bereits seit einigen Jahrzehnten angewendeten Registriereinrichtungen, wie Abbildfunkstrecke, Klydonographen, Staffelfunkstrecke oder Blitzstrom-Meßstäbchen gestellt wurden:

- Überspannungs-Registriereinrichtungen zur Betriebsüberwachung haben nur dann einen Wert, wenn sie an sehr vielen Stellen einer gefährdeten Anlage dauernd betriebsbereit und möglichst wartungsfrei zur Verfügung stehen.
- Der zumutbare Aufwand für eine große Zahl von Registriereinrichtungen begrenzt den Aufwand für die einzelnen.
- Mit Rücksicht auf die beiden Forderungen 1 und 2 genügt es in den meisten Fällen, wenn das Aufzeichnen der Vorgänge mit der Registriereinrichtung auf den Frequenzbereich von 10 Hz bis 10 kHz beschränkt bleibt, also auf das Frequenzspektrum, das auch von normalen induktiven Spannungswandlern einigermaßen richtig übertragen wird. Bei einer Beschränkung auf diesen Frequenzbereich bietet sich dann doch noch ein wertvoller

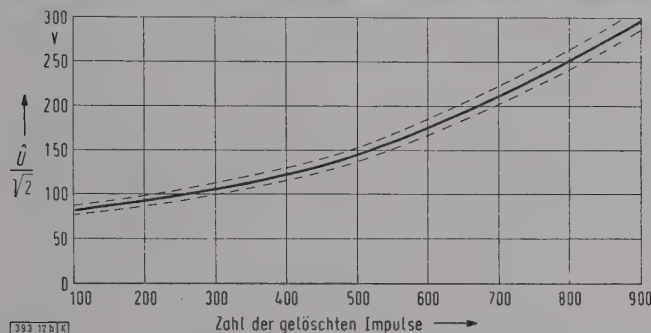
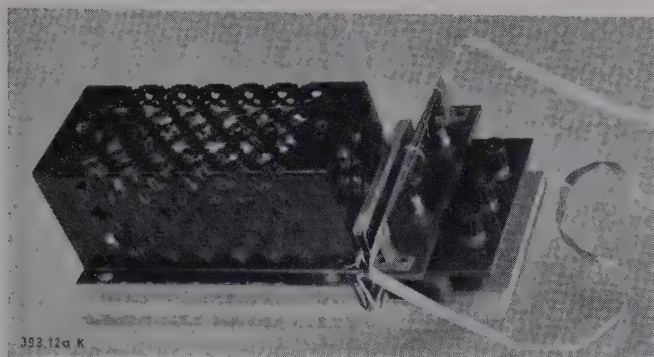


Bild 12. Scheitelspannungs-Meßeinrichtung mit Eichkurve.

- a) Bandaufnehmer mit zugehörigem Vorwiderstand nach Bild 10 c,
b) Eichkurve.

Einblick in das Schaltüberspannungsverhalten einer Anlage, deren Isolationsverhältnisse nicht mehr einwandfrei zu sein scheinen.

Inwieweit Wandler diese Forderungen erfüllen, sollte man bei einer passenden späteren Gelegenheit zum Gegenstand einer eingehenden Berichterstattung machen. Nach bei der Bewag vorgenommenen Untersuchungen zeigen sehr viele Spannungsmeßwandler schon bei Frequenzen oberhalb 4 kHz beachtliche Unregelmäßigkeiten.

Das neuartige Registrierverfahren

Zum Schluß soll nun ein neuartiges Registrierverfahren besprochen werden. Bei den vorerwähnten Versuchsschaltungen wurden bereits nach diesem Verfahren gebaute Ge-

räte verwendet, die ihre Zuverlässigkeit durch Vergleich mit den Oszillogramm-Auswertungen bewiesen haben. Die Geräte erfüllen die vorgetragenen drei Bedingungen. Sie erteilen Auskunft über den während der Versuchszeit aufgetretenen größten Scheitelwert des Stromes oder der Spannung. Sie geben jedoch keine Auskunft über die Häufigkeit der aufgetretenen Scheitelwerte und über den Zeitpunkt ihres Auftretens. Hinsichtlich des Informationsgehaltes sind die nach dem neuen Verfahren gebauten Geräte vergleichbar mit einem Maximal-Thermometer, einem Seger-Kegel oder auch mit dem Blitzstrom-Meßstäbchen. Die Geräte sagen mehr aus als die Estorffschen Funkenstrecken, die ja nur Auskunft über Überschreiten oder Nichtüberschreiten des eingestellten Pegelwertes geben.

Das Verfahren beruht auf der Wirkung, daß eine auf einen Magnettonträger, z. B. ein Magnettonband, aufgebrauchte Tonspur dann plötzlich verschwindet, wenn das Band einer in Bandrichtung wirkenden magnetischen Mindestfeldstärke ausgesetzt wird. Bei zur Zeit handelsüblichen Bändern beträgt diese Feldstärke etwa 300 A/cm. Hierbei ist es praktisch gleichgültig, wie hoch der ursprüngliche Tonspurpegel war. Ein Magnettonband, das mit 1000 Hz bei einer Bandgeschwindigkeit von 100 mm/s belegt worden ist, trägt in Bandlängsrichtung gleichmäßig verteilte Magnetisierungs-Impulse, deren Abstand

$$\frac{100 \text{ mm/s}}{1000 \text{ Hz}} = 0,1 \text{ mm}$$

beträgt und damit als Längen-Einheitsmaß verwertet werden kann. In diesem Beispiel entspricht eine Zahl von 1547 Impulsen einer Bandlänge von 154,7 mm. Der beschriebene Löscheffekt ist nun sinnvoll so ausnutzbar, daß man das Band an stromdurchflossenen Leitern oder an Spulen in der Weise unbeweglich anbringt, daß die von ihnen erzeugte stromabhängige magnetische Feldstärke zur vorbeschriebenen Wirkung kommt. Je nach der Höhe des wirkenden Stromes wird die Zone der gelöschten Tonspur am Band größer oder kleiner (Bild 10). Die Löschlänge gilt damit als Maß für den größten Scheitelwert des Stromes bzw. bei Kenntnis des Scheinwiderstandes der Anordnung des größten Scheitelwertes der Spannung. Die Löschlänge wird elektrisch gemessen, indem die ursprüngliche Zahl der Magnetisierungs-Impulse, in Bild 11 z. B. 1547, und die nach einem zu registrierenden Vorgang verbliebene, in Bild 11 z. B. 830, durch ein elektronisches Zählwerk ausgezählt werden. Die Differenz beider Zahlenwerte ist als Maß für den größten Scheitelwert des Stromes oder der Spannung anzusehen.

Den Zusammenhang zwischen gelöschter Impulszahl und der dem wirksamen Strom proportionalen Scheitelspannung in einer Anordnung nach Bild 10 c zeigt die Eichkurve (Bild 12). Der in Bild 12 oben dargestellte Bandaufnehmer mit zugehörigem Vorwiderstand hat bei der Frequenz 50 Hz eine Meßunsicherheit < 1 %; bei der Frequenz 16 kHz tritt noch zusätzlich ein Minusfehler < 10 % hinzu.

Bild 13 a zeigt den Bandaufnehmer für Stoßstrommessungen, bei dem das Band als Spirale um den eingeschnürten Leiter herumgewickelt wird.

Einen steckbaren Bandaufnehmer zeigt Bild 13 b; er wird für Scheitelstrommessungen hinter einem Stromwandler und insbesondere für Scheitelspannungsmessungen hinter einem Spannungswandler (unter Zwischenschaltung eines geeigneten Widerstandes) verwendet.

In Bild 14 ist die vollständige Einrichtung zum Auswerten der Magnettonträger gezeigt. Sie besteht aus einem handelsüblichen Tonbandgerät, einem elektronischen Vier-Dekaden-Zählwerk, wie es z. B. für Geiger-Müller-Zählrohre verwendet wird, und einem Generator für 1000 Hz, der eine sinusförmige Spannung liefert. Außerdem ist für die Zähl-

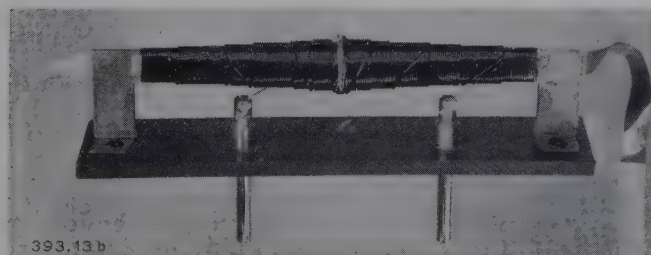
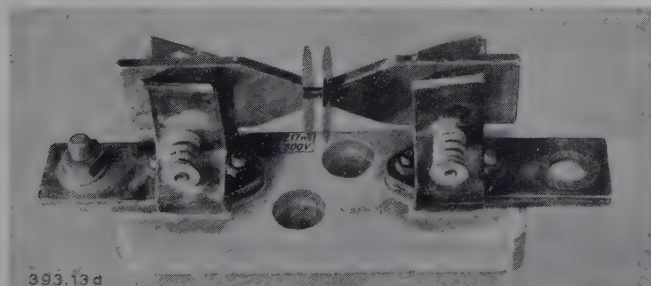


Bild 13. Verschiedene Bandaufnehmer für Strom- bzw. Spannungsregistrierung.

- a) Für Stoßstrommessungen,
b) für Anschluß an einen Spannungswandler.

einrichtung ein Impulsformer vorhanden, der aus den Sinusspannungen bei der Wiedergabe flankensteile Impulse macht.

Aus Raummangel kann nicht auf konstruktive Einzelheiten eingegangen werden. Es soll nur noch kurz einiges über die Frequenzgrenzen dieses Verfahrens gesagt werden. Ein Aufnehmer nach Bild 13 a ist z. B. für die Aufzeichnung eines Stoßstromes, welcher der 0,5/50- μ s-Vollwelle entsprach, auf einer reflektionsfreien Leitung angewendet worden. Es zeigte sich auch bis zu so schnellen Vorgängen hinsichtlich des Meßergebnisses weitgehende Übereinstimmung mit der Kugelfunkenstrecke. Der Strommeßbereich erstreckt sich von 50 A an bis zu Strömen von praktisch unbegrenzter Höhe, wenn die Leiteranordnung die Ausbildung eines genau definierten Magnetfeldes gewährleistet.

Die für die Spannungswandler-Speisung vorgesehenen Bandaufnehmer nach Bild 13 b setzen jedoch eine Frequenzgrenze durch folgende Sachverhalte. Die zu Beginn des Löscheffektes notwendige magnetische Mindestfeldstärke von 300 A/cm muß in einer Luftspule aufgebracht werden, die bei den zweckmäßigen Bandlängen eine bestimmte Induktivität hat. Diese Induktivität macht den Strom durch den Aufnehmer und damit das Meßergebnis frequenzabhängig. Durch Vorschalten eines Wirkwiderstandes kann

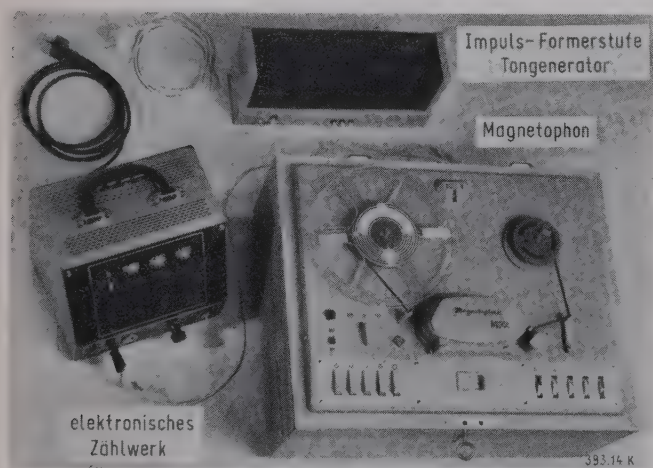


Bild 14. Auswerteinrichtung für Magnettonträger.

- 1 Magnettonbandgerät
- 2 elektronisches Zählwerk
- 3 Generator für 1000 Hz und Impulsformerstufe

der störende Einfluß gemindert werden. Dadurch steigt jedoch der Leistungsbedarf des Aufnehmers. Eine Grenzfrequenz von 20 kHz (definiert durch Amplitudenabfall auf 70 %) ließ sich nun leider bei dem Aufnehmer nach Bild 10 c nur erreichen unter Inkaufnahme eines Leistungsverbrauches von 100 VA (Stromaufnahme 1 A bei 100 V Nennspannung), bezogen auf normale Netzfrequenz von 50 Hz. Damit ist die Einrichtung zunächst für den unmittelbaren Anschluß an hochohmige Spannungsteiler nicht geeignet, von denen man im Gegensatz zu Spannungswandlern ein weniger frequenzabhängiges Teilverhalten erwarten könnte. Die beschriebene Einrichtung kann also vorerst nur bei solchen Registrieraufgaben benutzt werden, für die auch Schleifenzosillographen verwendet werden können.

Zusammenfassung

Um Aufschluß über die im Betrieb auftretenden Überspannungen zu erhalten, benötigt man Registriereinrichtungen, die mit zumutbarem Aufwand in großer Zahl eingesetzt werden müssen und dabei wartungsfrei und dauernd betriebsbereit sein sollen. Es genügt, wenn diese Geräte, die etwa an normale induktive Spannungswandler angeschlossen

werden, einen Frequenzbereich bis etwa 10 kHz erfassen. Überspannungsvorgänge höherer Frequenz sind zu meist von mittelfrequenten Vorgängen großer Scheitelspannungshöhe begleitet, so daß deren amplitudenrichtige Registrierung bereits eine wertvolle Information darstellt.

Die genannten Anforderungen erfüllt ein neues Registrierungsverfahren, das eine dem Scheitelwert des Stromes zugeordnete Löschwirkung auf ein ruhendes, mit 1000 Hz „besprochenes“ Magnetband benutzt. Ein nach diesem Prinzip gebautes Gerät registriert den während der Betriebszeit aufgetretenen höchsten Wert des Scheitelstromes oder der Scheitelspannung.

Durch Vergleich mit Auswertungsergebnissen von bei Versuchsschaltungen gewonnenen Schleifenzosillogrammen wurde die Zuverlässigkeit des neuen Registriergerätes nachgewiesen.

Das Gerät hat besonderen Wert für die Klärung von Störungen und ermöglicht beispielsweise die Feststellung, ob die Schadensursache eine ungewöhnlich hohe Überspannung oder etwa ein Isolationsfehler war.

Aussprache

W. Rabus, Stuttgart: Wenn der Vortragende mit seinem Gerät Überspannung mißt, muß er es wegen des großen Leistungsbedarfes, er sprach von 100 VA, an einen ziemlich ergiebigen induktiven Spannungswandler anschließen. Ich glaube, man kann nun nicht ohne weiteres unterstellen, daß für diese Spannungswandler bei einer Frequenz zwischen 20 und 1000 Hz die Sekundärgröße ohne weiteres als lineare Funktion der Primärgröße angenommen werden kann. Ich glaube, es empfiehlt sich, das Übertragungsverhalten der induktiven Spannungswandler für diese Zwecke sehr gründlich zu untersuchen, um Überraschungen zu vermeiden.

H. Wurz, Berlin (Schlußwort): Die von W. Rabus ausgesprochenen Zweifel an der Fähigkeit induktiver Wandler, höhere Frequenzen linear zu übertragen, sind durchaus berechtigt und decken sich mit meinen Erfahrungen; ich deutete das im Vortrag bereits an.

Die zu erwartenden Übertragungsfehler haben in erster Linie zwei Ursachen.

- 1 Die Streuinduktivität des Wandlers ergibt eine frequenzabhängige Komponente seines Innenwiderstandes und ruft lastenabhängige Übertragungsfehler bereits im Gebiet von einigen 100 Hz hervor.
2. Im Gebiet einiger 1000 Hz werden die Eigenkapazitäten der Wandler zusätzlich wirksam und lassen ihn damit in Resonanz zu den zu untersuchenden Vorgängen kommen. Dabei entstehen Übertragungsfehler, die durch Veränderung der Lasten nicht wesentlich zu beeinflussen sind.

Zur Verminderung des durch Punkt 1 verursachten Fehlers muß die durch die Registriereinrichtung dargestellte Bürde möglichst klein gegenüber der Nennbürde des Wandler sein. In diesem Sinne sind bereits Bandaufnehmer mit einem Leistungsbedarf von etwa 3 VA bei 10 kHz oberer Grenzfrequenz gebaut worden, mit denen allerdings noch keine Betriebserfahrungen gemacht worden sind.

Der Fehler nach Punkt 2 kann nur durch Auswahl geeigneter Wandler verkleinert werden, oder er muß nach Feststellung der Wandlerdaten rechnerisch berücksichtigt werden.

Schließlich sei bemerkt, daß ein Bandaufnehmer in Entwicklung ist, der praktisch leistungslos arbeitet und an kapazitive Teiler angeschlossen werden kann.

Erfahrungen mit Überspannungs-Punktschreibern

Von Eberhard Fischer, Fellbach*)

DK 621.317.726 : 001.8 : 621.3.083.722

Zur Messung von Überspannungen in elektrischen Anlagen wurde ein Überspannungs-Punktschreiber entwickelt. Über das Meßprinzip dieses Gerätes, die Ankopplungsbedingungen an ein elektrisches Netz und die Meßmöglichkeiten wird nachstehend berichtet.

Allgemeines

Zur Ermittlung der Höhe und Häufigkeit von Überspannungen in elektrischen Anlagen dienen bereits verschiedene Geräte, wie z. B. der Registrier-Klydonograph [1], die Heynesche Staffelfunkenstrecke [2], die Estorffsche Funkenstrecke [3], der Kathodenstrahl-Oszillograph [4] und andere. Über Untersuchungsergebnisse mit diesen Geräten, die unterschiedliche Erfolge zeigten, wurde an mehreren Stellen berichtet [5 bis 9]. Im Jahre 1954 wurde ein registrierender Spitzenspannungsmesser [10] beschrieben, von dem angenommen wird, daß er in seiner weiterentwickelten Form als Überspannungs-Punktschreiber über die in elektrischen Anlagen auftretenden Überspannungen ausreichend Auskunft geben kann.

Einen solchen Überspannungs-Punktschreiber für den Einbau in ein 110-kV-Netz zeigt Bild 1. Links sind die kapazitiven Spannungsteiler zur Ankopplung an das Netz zu sehen, und rechts ist der eigentliche Überspannungs-

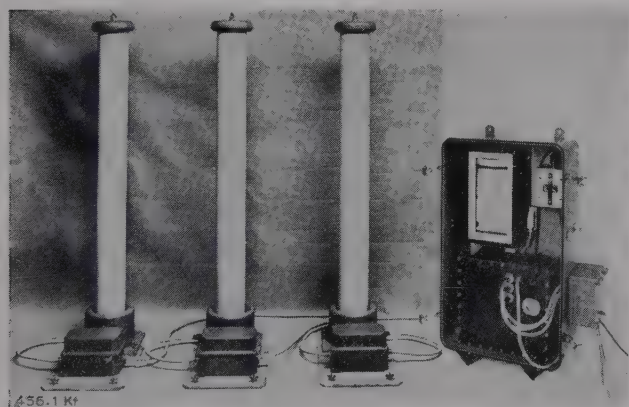


Bild 1. Überspannungs-Punktschreiber für Messungen in den drei Leitungen R, S und T mit kapazitivem Spannungsteiler für 110 kV

Punktschreiber, bestehend aus Diodengerät, Punktschreiber und Isoliertransformator, in einem Gehäuse eingebaut.

Wirkungsweise

Beim Überspannungs-Punktschreiber wird die Messung des Scheitelwertes von Überspannungen durch die Aufladung eines Kondensators über eine Hochvakuumdiode und dessen mechanische Umladung auf ein Meßgerät vorgenommen (Bild 2). Trifft z. B. auf den mit F bezeichneten Freileitungsanschluß des kapazitiven Spannungsteilers, bestehend aus den Kapazitäten C_H und C_N eine Überspannung, so wird im Meßkreis 1 der über den Schalter S_1 zugeschaltete Meßkondensator C_1 aufgeladen. Im Schaltbild wird zunächst angenommen, daß nur negative Spannungen gegen Erde zu messen seien. Nach einiger Zeit wird die durch einen Motor M angetriebene Nockenwelle den Schalter S_1 von Kontakt A (Aufladung) auf Kontakt B (Registrierung) umschalten und damit den Kondensator C_1 auf den Röhrenverstärker schalten, wobei der nachgeordnete Punktschreiber die Spannungsregistrierung vornimmt. Tritt

nun während der Zeit, solange der Kondensator C_1 auf Registrierung geschaltet ist, eine weitere Überspannung auf, so kann diese vom Meßkreis 1 nicht erfaßt werden. Deshalb sieht man einen zweiten Meßkreis vor, der zusammen mit dem ersten Meßkreis von einer Nockenwelle aus so gesteuert wird, daß mindestens ein Meßkreis immer auf Messen geschaltet ist. Es ist also eine Überlappung der einzelnen Meßkreise vorhanden, welche die Erfassung jeder auftretenden Überspannung zuläßt. Durch den Kontakt S_M wird der Fallbügel des Punktschreibers betätigt. Der Kontakt S_E sorgt für die Entladung des jeweiligen Meßkondensators nach der Registrierung.

Die zur Meßeinrichtung gehörigen Spannungsteiler sind so bemessen, daß die Spannung an den Meßkondensatoren

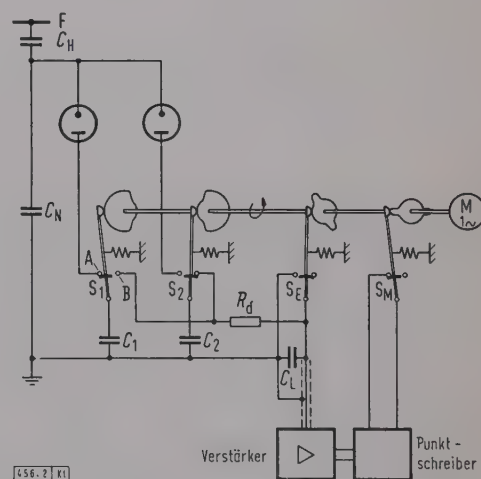


Bild 2. Prinzipschaltplan zum Messen von Überspannungen mit Hochvakuumdioden, Verstärker und Mehrfarben-Punktschreiber.

C_1 und C_2 in der Größenordnung von rd. 100 V liegt. Zur Anpassung dieser Spannung an die zulässige Eingangsspannung des Verstärkers dient der Kondensator C_L , dessen Spannung unmittelbar an die Eingangsklemmen gegeben wird. Mögliche Ausgleichsschwingungen werden durch den Widerstand R_d gedämpft.

Im allgemeinen ist es für den Netzbetrieb nicht so sehr von Interesse, welche Polarität eine Überspannung hat. Deshalb wurde die endgültige Ausführung des Überspannungs-Punktschreibers durch Verwendung von Hochvakuumdioden in Graetz-Schaltung für polaritätsunabhängige Messung gebaut (Bild 3). Für die Registrierung von Überspannungen in einem Drehstromsystem sind also sechs Meßkreise notwendig, von denen je zwei mit einer gewissen Überlappung an einem Leitungsstrang angeschlossen sind. Zur Betätigung der Umschalter werden hier Relais verwendet, die von einer im Punktschreiber eingebauten Schaltwalze gesteuert werden. Damit im Augenblick des Umschaltens keine Überspannungen mehr auf den Meßkreis gelangen können, wird der jeweilige Meßkreis kurz vor Betätigung des Umschaltrelais U_{S1} durch ein Abschaltrelais A_{S1} vom Netz getrennt. Entsprechend wird die Meßspannung über das Abschaltrelais erst nach Beendigung des Registriervorganges wieder zugeschaltet.

*) Dr.-Ing. E. Fischer ist Leiter des Laboratoriums für Überspannungsschutzgeräte der AEG-Fabrik Stuttgart.

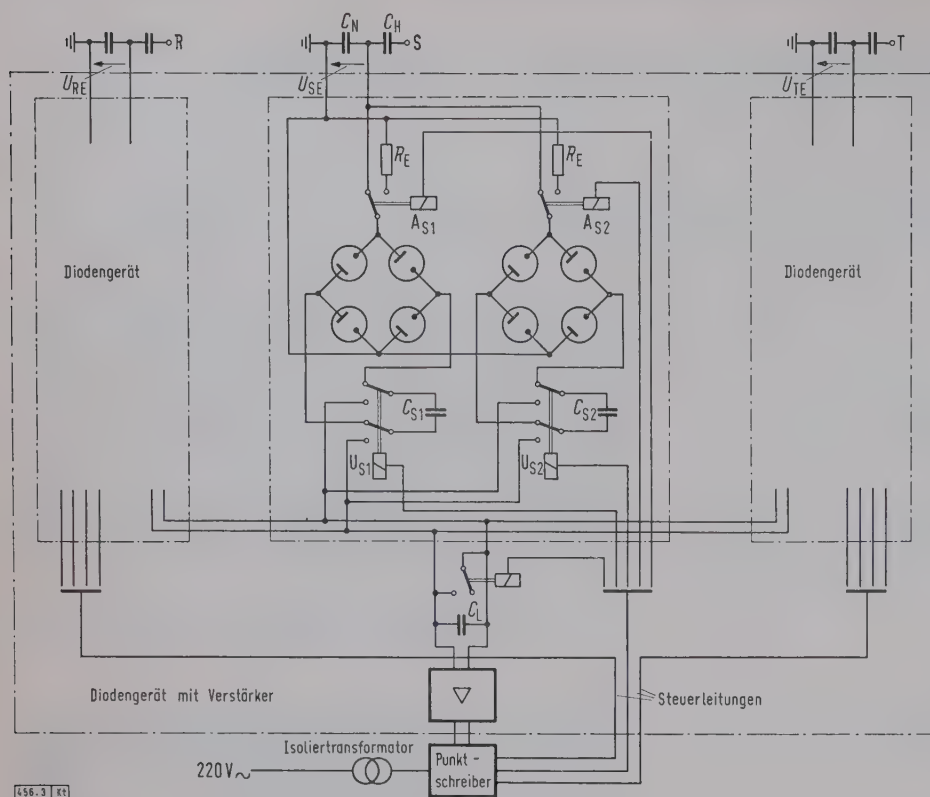


Bild 3. Prinzipschaltplan eines Überspannungs-Punktschreibers zur Spannungsregistrierung in drei Leitersträngen.

Auf Grund der Erfahrungen mit dem Gerät erwies sich der in Bild 4 gezeigte zeitliche Ablauf der Relaissteuerung für zweckmäßig. Eine ganze Registrierperiode dauert 30 s, und jeder Meßkondensator ist während 17 s auf Aufladung geschaltet, so daß die Überlappung einseitig 2 s dauert. Für die Registrierung sind 4 s und entsprechend kürzere Zeiten für das Erden und Schreiben vorgesehen.

Damit die Auflade- und Registrierperioden zeitlich möglichst gleichmäßig verteilt sind, werden zuerst die Meßkreise 1 der drei Leiter-Erdspannungen U_{RE1} , U_{SE1} und U_{TE1} und dann die Meßkreise 2 der Leiter-Erdspannungen U_{RE2} , U_{SE2} und U_{TE2} der Reihe nach auf Registrierung geschaltet. Somit wird alle 5 s ein Meßwert geschrieben, der alle 15 s dem gleichen Leiterstrang zugeordnet ist.

Das Gerät eignet sich zum Messen in Gleich- und Wechselspannungsnetzen und läßt sich — mit entsprechenden Spannungsteilern kombiniert — in einem Spannungsbereich zwischen 40 V und 400 kV verwenden. Mit einem geeigneten Eingangsverstärker versehen, ist es auch für kleinere Spannungen als 40 V geeignet. Das Gerät hat eine lineare Anzeige und kann Spannungsspitzen bis herab zur Dauer einer im Scheitel abgeschnittenen Welle $1/50 \mu s$ mit einer Genauigkeit von etwa 3% erfassen, was erfahrungsgemäß ausreichend ist. Aus einer Vielzahl von Überspannungen, die während einer Registrierperiode am Meßkreis zu liegen

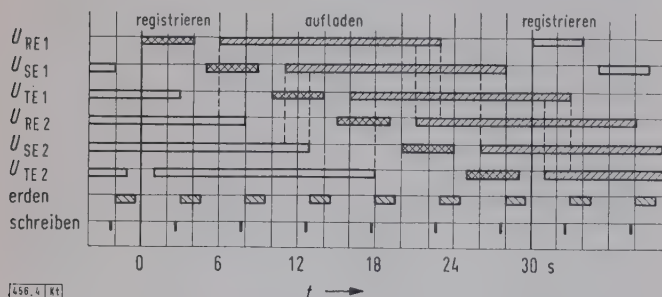


Bild 4. Relaiszeitplan des Überspannungs-Punktschreibers.

kommen, wird gemäß dem Meßprinzip nur die höchste Spannungsspitze registriert. Durch Kontrollmessungen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen konnte die einwandfreie Registrierung mit dem Gerät nachgewiesen werden.

Mit den bis jetzt gebauten Geräten sind die Erwartungen hinsichtlich der elektrischen und meßtechnischen Eigenschaften vollauf erfüllt worden. Vereinzelt aufgetretene Schwierigkeiten waren durch mechanische Fehler bedingt, die jedoch leicht zu beheben waren. Trotz des robusten Gehäuses handelt es sich um ein empfindliches Gerät.

Meßanordnung

Der Überspannungs-Punktschreiber kann je nach Meßzweck direkt oder über einen geeigneten Spannungsteiler, im allgemeinen kapazitiv, an ein Netz angeschlossen werden. Wichtig dabei ist, daß das Übersetzungsverhältnis des vorgeschalteten Spannungsteilers auch bei sehr kurzzeitigen Überspannungen konstant bleibt, weshalb von

einem Anschluß an einen induktiven Wandler abgeraten wird.

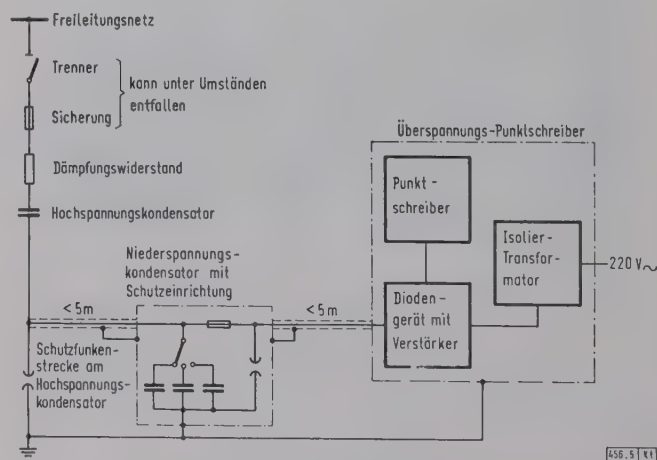


Bild 5. Prinzipskizze der Ankopplung eines Überspannungs-Punktschreibers an ein Hochspannungsnetz.

Damit das Übersetzungsverhältnis eines kapazitiven Spannungsteilers durch die Eingangskapazität des Diodengerätes nicht weiter beeinflusst wird, darf die Kapazität der Niederspannungsseite des Spannungsteilers einen Wert von etwa 50 nF nicht unterschreiten. Mit dem gewünschten Übersetzungsverhältnis, das höchstens eine stationäre Eingangsspannung des Überspannungs-Punktschreibers von etwa einem Fünftel des Meßbereichs (rd. 40 V Effektivwert) ergeben soll, läßt sich dann die Mindestkapazität des Hochspannungskondensators ermitteln. Andererseits darf diese Kapazität nicht unnötig groß gewählt werden, da sie sonst die Höhe der Überspannungen an der Meßstelle beeinflusst, und man erhält ein falsches Bild über die auftretenden Überspannungen. Hier ist zu erwähnen, daß z. B. in ausgedehnten Schaltanlagen die Überspannungshöhe in einzelnen Abschnitten sehr unterschiedlich sein kann, weshalb das Meß-

ergebnis eines Abschnitts nicht ohne weiteres auf einen andern übertragen werden darf.

Bild 5 zeigt eine Schaltung zum Ankoppeln des Überspannungs-Punktschreibers an ein Netz. Die Hochspannungs-seite des kapazitiven Spannungsteilers wird mit einer mög- lichst kurzen Leitung an den zu überwachenden Teil der Anlage angeschlossen. In Netzen niedriger Reihenspannung werden im allgemeinen ein Trennschalter oder eine Trenn- sicherung zur Verfügung stehen, die man an der Abzwei- gung zum Überspannungs-Punktschreiber einbauen kann. Zur Dämpfung hochfrequenter Schwingungen zwischen der Zuleitung des Spannungsteilers und dem Hochspannungs- kondensator empfiehlt es sich unter Umständen, Dämpfung- widerstände einzuschalten. Der für verschiedene Meß- bereiche umschaltbar vorgesehene Niederspannungskon- densator mit einer entsprechenden Schutzeinrichtung, be- stehend aus Feinfunkstrecke und Sicherung, soll mög- lichst nahe — höchstens einige Meter entfernt — an dem Hochspannungskondensator sein, um eine Dämpfung des Scheitelwertes extrem kurzer Wellen auf der Zuleitung zu verhindern. Damit keine elektrostatischen Fremdfelder in die Verbindung zwischen dem Hochspannungs- und Nieder- spannungs-Kondensator einstreuen können, wird hierfür ein abgeschirmtes Kabel verwendet. Entsprechendes gilt für die Verbindungsleitung zwischen dem Niederspannungs- kondensator und dem Diodengerät. Der Punktschreiber selbst kann jedoch, falls dies gewünscht wird, in größerer Ent- fernung aufgestellt werden.

Geerdet wird der Überspannungs-Punktschreiber, ebenso wie der Spannungsteiler, unmittelbar an der Erde der zu untersuchenden Anlage mit einem in der Anlage üblichen Erdungsquerschnitt. Tritt durch irgendwelche Störungen in der Anlage eine Potentialanhebung dieser Erde auf, so kann

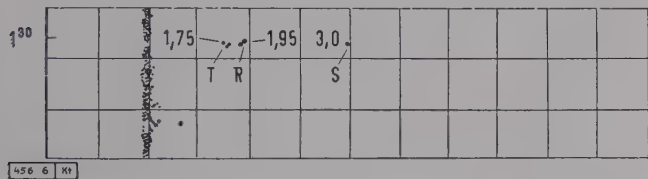


Bild 6. Überspannungen in einer 15-kV-Schaltstation während eines Gewitters. Registrierung in Leitungssträngen R, S und T.

gegenüber der 220-V-Niederspannungsversorgung des Ge- räts eine Potentialdifferenz entstehen, die möglicherweise zu einem Überschlag im Gerät und einer Potentialver- schleppung führt. Ein Isoliertransformator für die 220-V- Versorgungsspannung schafft hier Abhilfe.

Anwendungsbeispiele

Außer der Anwendung in Hoch- und Mittelspannungs- anlagen können Überspannungs-Punktschreiber in Nieder- spannungsnetzen, in Industrienetzen oder zur Registrierung laufender Messungen und ähnlichem verwendet werden. Auch lassen sich über geeignete Zwischenglieder mechan- ische Größen messen. Beim Einbau in Anlagen wird man das Gerät zweckmäßig an den Stellen aufbauen, für die be- reits ein Hinweis über das Auftreten von Überspannungen gegeben ist. In einem Netz eingebaut, schreibt der Über- spannungs-Punktschreiber normalerweise den Scheitelwert der Leiter-Erdspeannung, der gleichzeitig als Eichwert dienen kann.

Berücksichtigt man die oben gewonnenen Erkenntnisse, so kann für alle Fälle ein ordnungsgemäßes Registrieren der aufgetretenen Überspannungen erwartet werden. Im allgemeinen treten Überspannungen nach einer bestimmten statistischen Verteilung auf. Deshalb kann es notwendig sein, Überspannungs-Punktschreiber über Jahre hinweg an ein und derselben Einbaustelle zu belassen, bis ein Überblick

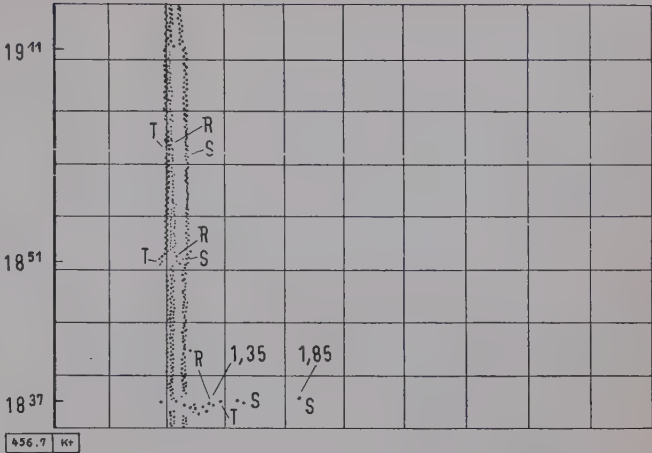


Bild 7. Überspannungen in einer 110-kV-Schaltanlage.
18 h 37 min Gewitter in einiger Entfernung von der Anlage
18 h 51 min bis 9 h 11 min Spannungsverlagerung infolge Änderung des Netzzustandes

über die an dieser Stelle möglichen Überspannungen ge- wonnen wird. Dies hat sich bereits bei den bis jetzt ein- gebauten Geräten deutlich gezeigt.

Meßergebnisse

Aus den zur Verfügung stehenden Meßergebnissen wer- den im folgenden nur einige besonders charakteristisch er- scheinende näher erläutert. So zeigt Bild 6 das Auftreten von Gewitterüberspannungen in einer 15-kV-Umspann- station mit 5 Leitungsabgängen. Man sieht daraus deutlich, daß am Leiter S eine Überspannung vom Dreifachen des Scheitelwertes der Leiter-Erdspeannung auftrat, also etwa 36,5 kV. Für eine Gewitterüberspannung scheint der ge- nannte Wert nicht übermäßig hoch zu sein. Beachtet man jedoch, daß die Station mehrere Leitungsabgänge hat und dadurch eine einlaufende Überspannungswelle gesenkt wird, dann läßt sich nach den Wanderwellengesetzen die ursprünglich auf einer Leitung aufgetretene Höhe der Ge- witterüberspannung berechnen. Sie beträgt in diesem Fall etwa das Dreifache der gemessenen Spannung. Hätte es sich im vorliegenden Fall um eine Kopfstation gehandelt, so wäre eine wesentlich höhere Spannung registriert wor- den, sofern sie nicht durch Überspannungsableiter begrenzt worden wäre.

Bild 7 zeigt die während eines entfernten Gewitters aufgetretenen Überspannungen mit einer Scheitelspeannung von $1,85 \cdot \bar{U} = 165 \text{ kV}$ in einer 110-kV-Station, wobei mit \bar{U} die Leiter-Erdspeannung bezeichnet ist. Auch hier waren mehrere Leitungen angeschlossen, die auf die einlaufende Überspannung spannungssenkend wirkten. Im Anschluß an die registrierten Gewitterüberspannungen in Bild 7 wurde durch eine Zu- oder Umschaltung im Netz eine geringfügige Spannungsverlagerung der drei Leiter hervorgerufen, die nach etwa 20 min durch einen zweiten Schaltvorgang wie- der behoben wurde.

Von besonderem Interesse erscheinen auch die mit dem Überspannungs-Punktschreiber registrierten inneren Über- spannungen. In Bild 8 ist eine Abschaltüberspannung beim

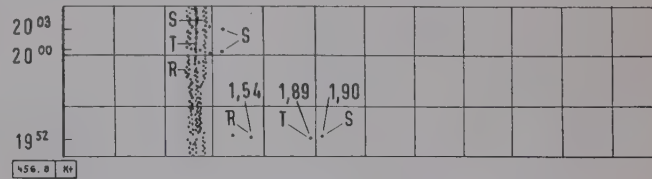


Bild 8. Überspannungen in einer 110-kV-Schaltanlage.
19 h 52 min Auslösung von zwei Freileitungen
20 h 01 min Zuschaltung einer Netzkupplung
20 h 03 min Zuschaltung einer Netzkupplung

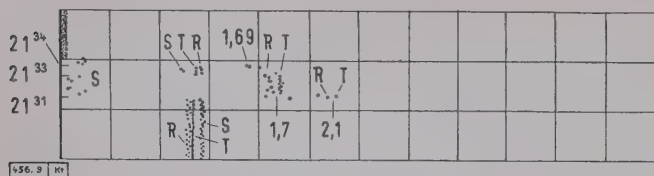


Bild 9. Überspannungen in einer 110-kV-Schaltanlage.

21 h 31 min Erdschluß in der 110-kV-Schaltanlage
 21 h 33 min Abtrennung des Erdschlusses
 21 h 34 min Abschaltung des Anlagenteiles

Auslösen zweier 110-kV-Freileitungen mit einer Scheitelspannung von $1,9 \cdot \bar{U} = 170 \text{ kV}$ registriert worden, wobei \bar{U} wieder der Scheitelwert der Leiter-Erdschlußspannung ist. Zu einem etwas späteren Zeitpunkt traten beim Zuschalten von Netzkupplungen unbedeutende Überspannungen auf.

Tritt in einer Anlage ein Erdschluß auf, so ist dessen Beginn im allgemeinen von Schwingungsvorgängen begleitet. Die bei einem solchen Vorgang gemessenen Scheitelwerte bis $2,1 \cdot \bar{U} = 190 \text{ kV}$ zeigt Bild 9. Nach anderweitig gewonnenen Erfahrungen zu urteilen, können, besonders wenn quasistationäre Resonanzen auftreten, höhere Spannungswerte als die hier gemessenen vorkommen, wobei je nach Lage des Erdschlusses und der Meßstelle stark unterschiedliche Werte vorkommen können. Bis heute konnten solche Vorgänge an einer Einbaustelle eines Überspannungs-Punktschreibers noch nicht registriert werden. Jedoch ist ein solcher oder ähnlicher Vorgang über längere Zeit hinweg zu erwarten.

Um einen allgemeinen Überblick über die möglichen Überspannungen in einem Netz zu erhalten, bedarf es daher eines vermehrten Einsatzes von Überspannungs-Registriergeräten, als dies bis heute geschehen ist.

Zusammenfassung

Der Aufbau und die Wirkungsweise eines Überspannungs-Punktschreibers werden an Hand von Schaltbildern

erläutert. Auf die Verwendungsmöglichkeiten und auf die Meßgenauigkeit des Gerätes, die mit einem Fehler von etwa 3% für Messungen in Netzen ausreichend sein dürfte, wird hingewiesen. An die Elemente zur Ankopplung des Geräts an eine Hochspannungsleitung sind wegen einer einwandfreien Registrierung der Überspannungen besondere Anforderungen hinsichtlich Verzerrungs- und Dämpfungs-freiheit zu stellen.

Einige Meßstreifen, auf denen Überspannungen verschiedener Ursache registriert sind, werden gezeigt.

Schrifttum

- [1] Neuhaus, H.: Überspannungsmessungen mit dem Klydonographen in deutschen Hochspannungsnetzen. Arch. Elektrotechn. Bd. 25 (1931) S. 333–358.
- [2] Heyne, H.: Messungen von Gewitterüberspannungen mittels Staffelfunkentrecke. Arch. Elektrotechn. Bd. 24 (1930) S. 469–502.
- [3] Estorfi, W.: Das Erfassen der inneren Überspannungen in Hochspannungsanlagen. ETZ Bd. 65 (1944) S. 189–192.
- [4] Berger, K.: Überspannungen in elektrischen Anlagen, erläutert an Hand von Untersuchungen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen. Bull. Schweiz. elektrotechn. Ver. Bd. 21 (1930) S. 77–109 und Bd. 21 (1930) S. 213–238.
- [5] Norinder, H.: Indirekte Blitzüberspannungen auf Kraftleitungen. ETZ Bd. 59 (1938) S. 105–111.
- [6] Norinder, H.: Untersuchungen von Blitzentladungen mit atmosphärischen Rundfunkstörungen in Schweden mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen. ETZ Bd. 56 (1935) S. 393–398.
- [7] Dorsch, H.: Betriebsüberwachung von Hochspannungsanlagen mit der Estorffschen Funkenstrecke. ETZ-A Bd. 75 (1954) S. 72–75.
- [8] Untersuchungen eines 100-kV-Netzes auf Überspannungen bei Schaltvorgängen. Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen; Vertraulicher Bericht Nr. 138, 1953.
- [9] Hyllén-Cavallius, N.: Methods for recording atmospheric over-voltages on power lines. Asea-J. Bd. 23 (1950) S. 95–99.
- [10] Rabus, W., u. Fischer, E.: Ein neuer registrierender Spitzenspannungsmesser. VDE-Fachber. Bd. 18 (1954) S. I/19–I/24.
- [11] Verfahren zur Messung von Überspannungen. DRP 318 316.

Überspannungsmessung mit einem Spitzenspannungsschreiber in einem 110-kV-Netz

Von Markus Remmler, Stuttgart*)

DK 621.317.7.087.6 : 621.3.015.38

Für die Bemessung der Isolation der Anlagenteile eines Netzes sind vor allen Dingen die voraussichtlich auftretenden Überspannungen atmosphärischer Art und durch Schaltvorgänge herrührend, maßgebend. Zum Aufzeichnen dieser Spannungen können Überspannungs-Punktschreiber verwendet werden. Zur Ergänzung der Erkenntnisse über die Schaltüberspannungen wurden Schaltversuche durchgeführt, über die nachstehend berichtet werden soll.

Angaben über das Netz

Der Spitzenspannungsmesser wurde an das 110-kV-Netz über drei kapazitive Spannungsteiler angekoppelt. Ein Mehrfarben-Punktschreiber zeichnete die Spitzenwerte der drei Leiter-Erdschlußspannungen des 110-kV-Netzes auf. Der Schreiber wurde so abgeglichen, daß im Normalbetrieb bei 110 kV Netzspannung auf dem 120 mm breiten Papierstreifen Ausschläge von 20 mm entstehen. Mit dieser Einstellung können Überspannungen bis zum 6-fachen Scheitelwert der Sternspannung registriert werden.

Während der gesamten Berichtszeit — das Schreibgerät ist als Neukonstruktion erst 5 Monate in Betrieb — war das Gerät nur in einer Anlage aufgestellt. Somit liegen Erfahrungen nur für diesen einen Punkt des betrachteten 110-kV-Netzes vor. Den einpoligen Übersichtsplan dieser Anlage zeigt Bild 1. In jede der zwei über Längstrenner

gekuppelten Hälften der Einfachsammelschiene ist ein System einer 110-kV-Doppelleitung eingeführt, die von einem 33 km entfernten größeren Knotenpunkt des Hochspannungsnetzes ausgeht. Die 110-kV-Leitung (1), die bei den Schaltversuchen im Leerlauf geschaltet wurde, hat eine Gesamtlänge von 52 km. Von dieser Leitung führt noch eine Stickleitung zu einer weiteren Anlage. An jeder Sammelschienenhälfte ist ein 25-MVA-Transformator (2) für eine Spannung 110 kV/20 kV für die Einspeisung in ein größeres 20-kV-Netz angeschlossen. Auf der rechten Sammelschienenhälfte ist ferner ein 31,5-MVA-Transformator (3) für 110 kV/60 kV zur Stützung eines 60-kV-Netzes vorhanden, mit dem die Schaltversuche im Leerlauf durchgeführt wurden. Sämtliche Leistungsschalter sind ölarme Schalter.

Die gesamte Leitungslänge des 110-kV-Netzes beträgt je nach Schaltzustand 1200 bis 1500 km. Es besteht im wesentlichen aus einem Ring mit 620 km Leitungslänge und sieben Ausläuferleitungen. In dieses Netz wird an acht Stellen aus

*) Dipl.-Ing. M. Remmler ist Mitarbeiter der Energie-Versorgung Schwaben AG, Stuttgart.

dem 220-kV-Netz oder aus Dampfkraftwerken eingespeist. Das Netz ist mit Erdschlußblöschspulen ausgerüstet. Der Erdschlußreststrom dürfte rd. 80 bis 100 A betragen.

Überspannungen bei Netzbetrieb

Zur Registrierung der bei Netzbetrieb auftretenden Überspannungen war der Überspannungs-Punktschreiber in einem Reservefeld eingebaut. Während eines Netzbetriebes über 5 Monate wurden 61 Überspannungen registriert, und zwar

- 16 Überspannungen bei Störungen im 110-kV-Netz,
- 33 Überspannungen bei Schaltheandlungen am Aufstellungs-ort des Schreibers,
- 1 Überspannung infolge Rückwirkung aus dem 60-kV-Netz und
- 11 Überspannungen mit nicht geklärter Ursache.

Die angegebene Aufgliederung (Tafel 1) der Störungsfälle war möglich an Hand der Störungsmeldungen der Lastverteilung und der Eintragungen ins Betriebsbuch der örtlichen 110-kV-Anlage. Ohne diese Unterlagen wäre es nicht möglich gewesen, die Herkunft von Überspannungen anzugeben. Um die Anzahl der ungeklärten Fälle möglichst klein zu halten, sollten darüber hinaus auch alle kurzzeitigen Vorgänge und Unregelmäßigkeiten im Hochspannungsnetz festgehalten werden, die nicht als Störungsmeldungen erfaßt wurden.

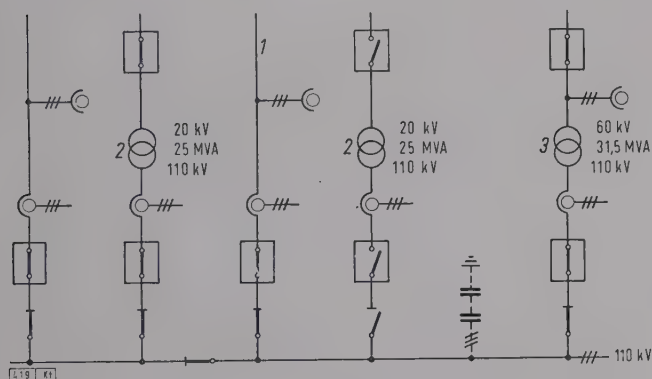


Bild 1. Schematischer Übersichtsplan der 110-kV-Anlage.

- 1 110-kV-Leitung
- 2 25-MVA-Transformator für 110 kV/20 kV
- 3 31,5-MVA-Transformator für 110 kV/60 kV

Von den 16 Überspannungen im 110-kV-Netz rühren 15 von Erdschlüssen her und eine von einer dreipoligen Kurzschlußabschaltung in großer Entfernung vom Aufstellungs-ort des Schreibers. Von den 15 Erdschlüssen sind 9 Erdschlußwischer und 6 kurzzeitige Erdschlüsse von 0,2 bis 0,7 s Dauer. Die größeren Lichtbogenzeiten traten bei der größeren Leitungslänge von 1500 km auf. Bei dieser wurden jedoch auch 4 Wischer registriert. Es zeigt sich also, daß die Ausdehnung der 110-kV-Netze mit Rücksicht auf die Erdschlußlöschung nicht beliebig gesteigert werden kann. Da das 110-kV-Netz mit Erdschlußwischerrelais ausgerüstet ist, kann für jeden Erdschluß die fehlerbehaftete Leitung und damit die ungefähre Fehlerentfernung vom Einbauport des Überspannungs-Punktschreibers ermittelt werden.

Folgende Überspannungsfaktoren γ , die als das Verhältnis des Scheitelwertes der Überspannung zum Scheitelwert der Leiter-Erdspeisung definiert wurden, sind abhängig von der Fehlerentfernung gemessen worden, und zwar für eine Entfernung

- von 0 bis 150 km mit $\gamma = 1,70$ bis 2,00,
- von 150 bis 200 km mit $\gamma = 2,05$ bis 2,30 und
- von 200 bis 300 km mit $\gamma = 1,93$ bis 2,10.

Ordnet man die Höchstwerte der gemessenen Überspannungsfaktoren nach der Häufigkeit ihres Auftretens, so ergeben sich bei 9 Erdschlüssen Überspannungsfaktoren zwischen 1,50 bis 2,00 und bei 6 Erdschlüssen Überspannungsfaktoren zwischen 2,00 bis 2,30.

Die 33 an der 110-kV-Sammelschiene registrierten Schaltüberspannungen rührten von den Schaltvorgängen in der örtlichen 110-kV-Anlage her. Der höchste Überspannungsfaktor betrug 2,20. Dieser Wert wurde auch durch die Schaltversuche bei Leerlauf bestätigt. Bei 11 Überspannungen konnte die Ursache nicht festgestellt werden. Der größte Überspannungsfaktor betrug hierbei 2,20.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Überspannungen infolge von Netzstörungen und örtlichen Betriebsschaltungen annähernd gleich hoch sind.

Überspannungen bei Schaltvorgängen

Damit man über die bei Schaltvorgängen in der örtlichen 110-kV-Anlage auftretenden Überspannungen genaueren Aufschluß erhält, wurden Schaltversuche am leerlaufenden

Tafel 1. Aufgliederung der 61 aufgetretenen Überspannungen, die während 5 Monaten registriert wurden. Überspannungsfaktor ist das Verhältnis des Scheitelwertes der Überspannung bezogen auf den Scheitelwert der Leiter-Erdspeisung.

Störungsart	Anzahl der Störungen	Überspannungsfaktor	
		Höchstwert	Mittelwert
Störungen im 110-kV-Netz, die vom Lastverteiler gemeldet wurden:			
Erdschlüsse	15	2,30	1,84
dreipolige Kurzschlußabschaltung	1	1,41	—
Schaltüberspannungen infolge Schaltvorgängen in der 110-kV-Anlage	33	2,20	1,30
Überspannung infolge Rückwirkung aus dem 60-kV-Netz	1	1,30	—
Überspannungen, deren Ursache nicht feststellbar war	11	2,20	1,48

Transformator 110 kV/60 kV und einer leerlaufenden Leitung durchgeführt. Überspannungsableiter waren in der Anlage zunächst nicht eingebaut. Erst nachdem am leerlaufenden Transformator an den 110-kV-Durchführungen beim Abschalten Schutzfunkenstrecken angesprochen hatten, wurden an die 110-kV-Klemmen Ableiter angeschlossen, deren Abbildfunkenstrecken nach jedem Abschalten nachgesehen wurden. Bei den Abschaltungen des leerlaufenden Transformators muß also unterschieden werden zwischen solchen mit und ohne Ableiter.

Der Leerlaufstrom des 31,5-MVA-Transformators auf der 110-kV-Seite war bei den Versuchen 8,5 A. Die Schaltversuche mit der 52 km langen leerlaufenden 110-kV-Leitung wurden ohne Ableiter durchgeführt. Der Ladestrom dieser Leitung betrug 12 A.

Zunächst wird über die auf der Netzseite aufgetretenen Überspannungen berichtet. Der Überspannungs-Punktschreiber war wie bei den Betriebsmessungen an der 110-kV-Sammelschiene angeschlossen, also nicht unmittelbar an den Schaltpolen des zu schaltenden Leistungsschalters. Die Länge der Leitungsverbindungen zwischen Meßgerät und Leistungsschalter des Transformators betrug rd. 25 m und zum Leistungsschalter der Leitung rd. 34 m. Die Ergebnisse der Schaltversuche sind in Tafel 2 zusammengestellt. Sämtliche Schaltungen wurden auf der 110-kV-Seite durchgeführt. Die höchsten Überspannungsfaktoren γ unter verschiedenen Schaltbedingungen und an verschiedenen Meßstellen können der Tafel 2 entnommen werden.

Die Überspannungen auf der geschalteten Seite des Transformators wurden mit einem Überspannungs-Punkt-

Tafel 2. Zusammenstellung der Ergebnisse der Schaltversuche.

Anlageteil	Schalten	Überspannungsableiter	Überspannungsfaktor γ								
			Meßstelle Sammelschiene (110 kV)			Meßstelle Primärseite des Transformators (110 kV)			Meßstelle Sekundärseite des Transformators (60 kV)		
			Anzahl der Schaltungen	Höchstwert	Mittelwert	Anzahl der Schaltungen	Höchstwert	Mittelwert	Anzahl der Schaltungen	Höchstwert	Mittelwert
31,5-MVA-Transformator 105 (1 \pm 0,22) kV/ 60 kV	Aus mit Leistungsschalter	ohne	20	2,32	1,54	22	6,00	2,00 ¹⁾	20	4,46	2,26 ²⁾
		mit	8	1,77	1,35 ³⁾	20	3,08	1,81 ⁴⁾	—	—	—
110-kV-Leitung	Ein mit Leistungsschalter	ohne	20	1,48	1,16	21	2,69	1,14	20	1,69	1,32
		mit	20	1,98	1,28	20	2,20	1,36	—	—	—
110-kV-Leitung	Ein mit Leistungsschalter	ohne	20	1,46	1,22	20	1,48	1,22	—	—	—
		mit	20	1,98	1,28	20	2,20	1,36	—	—	—
Zuleitung vom Trenner zum Leistungsschalter des Transformators	Aus mit Sammelschienen-Trenner	ohne	8	1,73	1,45	—	—	—	—	—	—
		mit	8	1,44	1,32	—	—	—	—	—	—

1) Die 110-kV-Schutzfunkenstrecke am Transformator hat einmal bei $\gamma_s = 3,60$ im Strang S, nicht jedoch bei $\gamma_s = 6,00$ im Strang T angesprochen, vermutlich infolge anderer Polarität dieser Überspannung und starker Polaritätsabhängigkeit der Ansprechspannung der Schutzfunkenstrecke.

2) Schutzfunkenstrecken auf der 110-kV-Seite im Strang R und T haben bei drei Abschaltungen angesprochen.

3) Bei einer Abschaltung haben die Ableiter in den Strängen R und S angesprochen, nicht jedoch bei der Abschaltung mit der höchsten gemessenen Überspannung.

4) Bei einer Abschaltung, bei der auch der Höchstwert aufgetreten ist, haben alle drei Ableiter angesprochen.

schreiber zuerst an den 110-kV- und dann an den 60-kV-Klemmen gemessen. Geschaltet wurde, wie schon erwähnt, immer auf der 110-kV-Seite. Die Überspannungsfaktoren auf der geschalteten Seite — also der 110-kV-Seite — waren, wie zu erwarten, höher als die auf der Netzseite.

An den 110-kV-Klemmen ergab sich, daß von den 22 Abschaltungen ohne Ableiter bei einer Abschaltung mit dem Überspannungsfaktor 3,6 in Strang S die Schutzfunkenstrecke angesprochen hat. Der größte Überspannungsfaktor trat jedoch mit $\gamma = 6$ im Strang T auf, ohne daß eine Schutzfunkenstrecke angesprochen hat. Der Grund mag vermutlich andere Polarität dieser Überspannung und starke Polaritätsabhängigkeit der Ansprechspannung der Schutzfunkenstrecke sein. Da bei einem Überspannungsfaktor $\gamma = 6$ der Zeiger des Überspannungs-Punktschreibers auf Endausschlag ging, könnte die tatsächliche Überspannung noch höher gewesen sein.

Hohe Überspannungsfaktoren ergaben sich auch auf der Sekundärseite des Umspanners, und zwar bei 20 Abschaltungen ohne Ableiter ein Höchstwert von 4,46. Bei dieser Versuchsreihe haben die 110-kV-Schutzfunkenstrecken dreimal angesprochen.

Zum Schluß wird noch über die Meßergebnisse auf der Leitung berichtet. Für diese Messung war der Schreiber zwischen Freileitungstrenner und Leistungsschalter angeschlossen. Auf der geschalteten Seite der Leitung betrug der höchste Überspannungsfaktor beim Ausschalten 2,20 und beim Einschalten 1,48.

Zu bemerken ist noch, daß bei den Abschaltungen mit Ableitern von den Leerlaufströmen des Transformators Schleifenoszillogramme aufgenommen wurden. Bei den zwei Abschaltungen, bei denen die Überspannungsableiter angesprochen haben, zeigen die Schleifenoszillogramme infolge einer Rückzündung in allen drei Strängen einen Einschaltstromstoß, der ein Vielfaches des stationären Wertes beträgt.

Um sicher zu gehen, daß die Höhe der mit dem Überspannungs-Punktschreiber gemessenen Überspannungen richtig ist, wurden Vergleichsmessungen mit einem Elek-

tronenstrahl-Oszillographen durchgeführt. Dieser wurde über drei vom Überspannungs-Punktschreiber unabhängige kapazitive Spannungsteiler an das Netz angekoppelt. Die Vergleichsmessungen wurden auf der abgeschalteten 110-kV-Seite des Transformators vorgenommen. Die Koppelkondensatoren für den Überspannungs-Punktschreiber und den Elektronenstrahl-Oszillographen wurden mit kleinstmöglichem gegenseitigen Abstand an die Leiter angeschlossen. Bei diesen Messungen waren am Transformator 110-kV-Ableiter vorhanden. Die bei 20 Abschaltungen mit dem Elektronenstrahl-Oszillographen gemessenen Werte lagen im Durchschnitt um 9% über den mit dem Überspannungs-Punktschreiber gemessenen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse beider Meßverfahren kann als gut bezeichnet werden. Selbst ein Unterschied von 15% gegenüber den Werten des Überspannungs-Punktschreibers kann noch hingenommen werden.

Über den Einfluß der Koppelkapazitäten bei Messungen auf der Transformatorseite ist zu sagen, daß die Erdkapazität je Strang im wesentlichen durch die Kapazität des Umspanners bestimmt wird. Diese beträgt 15 000 pF. Der Koppelkondensator für den Überspannungs-Punktschreiber hat je Strang 500 pF, der kapazitive Teiler zum Elektronenstrahl-Oszillographen je Strang 180 pF. Die Erdkapazität wird also durch die Meßkondensatoren nur unbedeutend erhöht. Das Meßergebnis wird somit durch diese zusätzlichen Kapazitäten praktisch nicht beeinflusst.

Es ist zu erwarten, daß durch den planmäßigen Einsatz der Meßgeräte in den Hochspannungsnetzen wichtige Angaben über die beim Netzbetrieb zu erwartenden Überspannungen erhalten werden.

Zusammenfassung

Nach einigen elektrischen Angaben über das untersuchte Netz wird über Meßergebnisse bei Netzbetrieb und Schaltversuchen berichtet. Wenn auch nur Erfahrungen über einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum vorliegen, so kann doch gesagt werden, daß Überspannungs-Punktschreiber wertvolle Betriebsmeßgeräte zum Messen von Überspannungen sind.

Überspannungsmessung mit einem Überspannungs-Punktschreiber in einem Mittelspannungsnetz

Von Franz Geiger, Kassel*)

DK 621.317.7.087.6 : 621.3.015.38

Die üblichen Spannungsschnellschreiber eignen sich grundsätzlich nicht dazu, sehr kurzzeitig im Netz auftretende Überspannungen aufzuzeichnen. Erfasst man diese aber mit einem Überspannungs-Punktschreiber und ordnet sie zeitrichtig den Netzfehlern zu, die von Spannungsschnellschreibern aufgezeichnet wurden, dann gewinnt man einen guten Einblick in den Zusammenhang zwischen den Überspannungen und den Fehlern in dem untersuchten Netzgebiet. Bei der Auswertung ist noch zu unterscheiden zwischen den Spannungen, die Fehler verursacht haben, und jenen, die als Folge sonstwie verursachter Fehler aufgetreten sind.

In Mittelspannungsnetzen liegen über die Höhe und Häufigkeit der Überspannungen meist keine Unterlagen vor. Wohl lassen sich einzelne Störungen eindeutig auf Überspannungen, insbesondere äußere Überspannungen, zurückführen. Erkennt man im allgemeinen auch äußere nicht-elektrische Einflüsse, die Störungen verursacht haben. Es bleibt aber immer wieder eine Anzahl von Netzfehlern übrig, bei denen — auch wenn Störungsort und Störungsablauf bekannt sind — nicht mit Sicherheit entschieden werden kann, in welchem Verhältnis die Ursachen in Überspannungen oder aber in langsam oder schnell fortschreitenden Isolationsminderungen einzelner Anlagenteile zu suchen sind. Überspannungsmessungen in einem 20-kV-Netzgebiet der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Mitteldeutschland sollen einen Beitrag zur Klärung dieser Frage liefern, wobei in die Untersuchung alle Netzfehler, also außer eigentlichen Störungen mit Stromunterbrechung auch Erdschlüsse und Erdschlußwischer, einbezogen wurden.

Zweck der Untersuchung

Als Aufgabenstellung für eine solche Überspannungsuntersuchung könnte man etwa folgende Fragen stellen:

1. Wie hoch waren die Überspannungen, die Fehler verursacht haben?
2. Wieviele Überspannungen wurden insgesamt registriert?
3. Wie verteilen sie sich auf äußere und innere Überspannungen?
4. Wie ist das anteilige Verhältnis von den Überspannungen, die in Verbindung mit Fehlern aufgetreten sind, zu den Überspannungen, die nicht im Zusammenhang mit Fehlern stehen?
5. Wieviele der in Verbindung mit Fehlern aufgetretenen Überspannungen waren selbst Ursache der Fehler und wieviele traten als unmittelbare Folge von sonstwie verursachten Fehlern auf?
6. In welchem Umfang waren die aufgetretenen Überspannungen für dieses — willkürlich ausgewählte — Mittelspannungsnetz gefährlich?
7. Muß man die Ursache von Netzfehlern — soweit sie nicht auf äußere nichtelektrische Einflüsse zurückzuführen sind — vorzugsweise in Überspannungen oder aber in Isolationsminderungen einzelner Anlagenteile suchen?

Die Auswertung der Ergebnisse des gewählten Meßverfahrens konnte nicht alle diese Fragen beantworten. Es dürfte überhaupt kein Meßverfahren geben, das alle diese Fragen zugleich befriedigend beantwortet. Immerhin konnten durch das im folgenden beschriebene Auswerteverfahren aufschlußreiche Erkenntnisse gewonnen werden.

Angaben über Meßgeräte, Meßorte, Netz und Gewitterhäufigkeit

Die Überspannungsmessungen wurden mit einem an alle drei Leiter angeschlossenen Überspannungs-Punktschreiber, System *Rabus-Fischer*, durchgeführt. Einzelheiten über die

Wirkungsweise des Gerätes sind den Ausführungen von *Fischer*¹⁾ zu entnehmen.

Im Umspannwerk des untersuchten Netzgebietes ist für die Betriebskontrolle und Fehlererfassung ein Störspannungsschnellschreiber eingesetzt, der bei Netzfehlern auf Schnellablauf umschaltet, jedoch kurzzeitige Überspannungen nicht erfassen kann.

Der Überspannungs-Punktschreiber war von Februar 1959 bis einschließlich August 1959 in einer 8 km vom Umspannwerk entfernten Schaltstation eingesetzt, von der drei Kabelabgänge nach etwa 150 m in Freileitung übergehen; über ein viertes Kabel ist eine 300 m entfernte Ortsnetzstation angeschlossen. Im September war das Gerät in einer Ortsnetzstation eingebaut, die über ein 700 m langes Kabel und eine 2 km lange Freileitung an eine Freileitungsdurchgangsstation angeschlossen ist.

Das vom Umspannwerk Hardegsen, nördlich von Göttingen, im Inselbetrieb versorgte 20-kV-Netzgebiet umfaßt 300 km vorwiegend auf Holzmasten verlegte Freileitungen und 20 km Kabel. Das Netz ist mit Überspannungsschutz gut ausgestattet. Alle Kabelaufführungsmaste und alle Kopfstationen sind mit Ventilableitern ausgerüstet. Die Durchgangsstationen haben wenigstens einen Satz Ventil- oder Löschrohrableiter. An den Schaltstationen ist jeder Abgang geschützt.

Nach Auskunft der Wetterwarte Göttingen wurden im Jahre 1959 im dortigen Raum bis Anfang Oktober 40 Gewitterstunden festgestellt, in den Sommermonaten Juni, Juli und August je 12 Gewitterstunden. Verglichen mit dem langjährigen Mittelwert von 43 jährlichen Gewitterstunden hatte das Jahr 1959 im dortigen Raum eine normale Gewitterhäufigkeit.

Auswerteverfahren

Die relative Höhe der Überspannungen wird im folgenden als Vielfaches, d. h. als Überspannungsfaktor γ , des Scheitelwertes der normalen Leiter-Erdspannung angegeben. Im 20-kV-Netz ist dieser Scheitelwert 16,5 kV. Bei der Auswertung wurden Überspannungen berücksichtigt, deren so definierter Überspannungsfaktor $\gamma > 1,1$ war. Bei Erdschlüssen blieben jedoch die bekannten stationären Spannungsverlagerungen außer Betracht. Innerhalb eines jeden „Vorganges“ wurde von jeder der drei Leiter-Erdspannungen nur je ein Höchstwert ausgewertet. So wurde z. B. ein im selben Leiter wiederholt zündender Erdschluß nur als ein Vorgang betrachtet. Bei Gewittern dagegen wurde jede der in unregelmäßigen Abständen registrierten Überspannungen als einzelner Vorgang gewertet.

Die Registrierung des Überspannungs-Punktschreibers unterscheidet nicht zwischen Stoßspannungen und Wechselspannungen, also auch nicht zwischen äußeren und inneren Überspannungen. Aber selbst eine solche Unterscheidung wäre kein Hinweis dafür, ob eine — äußere oder innere — Überspannung die Ursache eines zeitgleich registrierten Fehlers war, oder ob ein sonstwie eingetretener Fehler eine zeitgleich registrierte — innere — Überspannung verur-

*) Dipl.-Ing. F. Geiger ist Mitarbeiter der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Mitteldeutschland in Kassel.

1) *Fischer, E.*: Erfahrungen mit Überspannungs-Punktschreibern. S. 603 bis 606 dieses Heftes.

sacht hat. Es mußte also ein anderes Kriterium gefunden werden.

War an den fehlerbehafteten Leitern im Zeitpunkt des Fehlers keine Überspannung registriert worden, so schied in dem betreffenden Fall eine Überspannung als Fehlerursache mit Sicherheit aus. War jedoch am fehlerbehafteten Leiter eine Überspannung registriert worden, so kommt diese zwar nicht unbedingt, aber doch mit großer Wahrscheinlichkeit als Fehlerursache in Betracht. Es kann nämlich auch vorkommen, daß in großer Entfernung vom Fehlerort unmittelbar nach Eintreten eines Erdschlusses die Leiter-Erdspannung des fehlerbehafteten Leiters in einer gedämpften Schwingung erst einmal überschwingt, bevor sie zusammenbricht, während sie in der Nähe des Fehlerortes ohne Überspringen zusammenbricht. Bei kleinem Abstand des Fehlerortes vom Meßort muß eine im fehlerbehafteten Leiter registrierte Überspannung demnach vor Eintreten des Erdschlusses aufgetreten sein und ist daher als Ursache des Fehlers zu betrachten.

Die Entfernungen, bei denen der Fall des Überspringens eintreten kann, sind jedoch nicht bekannt. Sicher ist auch der Augenblickswert der Leiter-Erdspannung bei Fehlereintritt, also der Schaltphasenwinkel, von wesentlichem Einfluß. In diesem Zusammenhang war es interessant, daß bei Erdschlußversuchen einmal beim Einschalten des Erdschlusses auch in dem an Erde liegenden Leiter eine Überspannung registriert wurde. Die Entfernung des Meßortes vom Erdschlußort, wo ein Leitungsseil auf dem Boden lag, betrug 17 km.

Beurteilung des Auswerteverfahrens

Bei der Auswertung wurde unterschieden zwischen Überspannungen ohne zeitgleiche Netzfehler, Überspannungen, die Fehler verursacht hatten, und Überspannungen, die als Folge sonstwie verursachter Fehler aufgetreten waren.

Das beschriebene Auswerteverfahren konnte also, wie nachfolgend gezeigt wird, die eingangs aufgeführten Fragen 2, 4, 5, 6 und 7, teilweise auch die Frage 3, beantworten. Leider bleibt aber die besonders interessante Frage 1 offen, und zwar aus folgendem Grund.

Die Höhe von Wanderwellen wird bei ihrer Ausbreitung im Netz durch die Leitungsdämpfung vermindert. Andererseits wird ihre Höhe an Unstetigkeitsstellen des Wellenwiderstandes verändert, also an offenen Leitungsenden, an konzentrierten Induktivitäten (z. B. Transformatoren), am Übergang von Freileitung auf Kabel und umgekehrt, an Leitungsverzweigungen, insbesondere also in Schaltanlagen. Auch bei den als quasistationär anzusehenden Einschwingvorgängen kann die Spannung an verschiedenen Stellen verschieden groß sein. Die Höhe der Überspannungen hängt also von der gegenseitigen Lage folgender drei Netzpunkte zueinander ab:

1. Entstehungsort der Überspannung,
2. Fehlerort,
3. Meßort.

Bekannt ist der Meßort, nicht immer auffindbar ist der Fehlerort, und meist unbekannt — besonders bei äußeren Überspannungen — ist der Entstehungsort.

Aus den vorangegangenen Überlegungen muß man den Schluß ziehen, daß die am Meßort registrierten Überspannungen kleiner oder größer sein können als die an verschiedenen Orten des Netzes aufgetretenen Überspannungen.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die grundsätzliche Problematik, auf Grund der registrierten Überspannungen allgemeine Aussagen über die Höhe der in einem Netzgebiet aufgetretenen Überspannungen zu machen. Es läßt sich deshalb auch kaum etwas darüber aussagen, wie hoch die Fehler verursachenden Überspannungen an den Fehlerorten waren. Will man also nicht ein ganz bestimmtes Objekt beobachten, z. B. einen Transformator, eine be-

sonders gewittergefährdete Strecke oder eine Schaltanlage, sondern ein ganzes Netzgebiet, so ist die Wahl des Meßortes von untergeordneter Bedeutung.

Ergebnis der Überspannungsuntersuchung

Von der Gesamtzahl der ausgewerteten Überspannungen $n_g = 277$ blieb ein Anteil von 80% unter dem Zweifachen des Scheitelwertes der normalen Leiter-Erdspannung, also unter 33 kV. Der höchste Scheitelwert der registrierten Überspannungen betrug 48 kV, was einem Überspannungsfaktor $\gamma = 2,9$ entspricht. Diese Werte gelten nach den vorausgehenden Ausführungen nur für die Schaltanlage bzw. für die Ortsnetzstation, in denen gemessen wurde. Die Überspannungen an den Fehlerorten können, wie bereits erwähnt, höher oder auch niedriger gewesen sein.

Aufschlußreicher für die Frage, in welchem Maße die aufgetretenen Überspannungen für das Mittelspannungsnetz gefährlich waren, sind die weiteren Untersuchungsergebnisse, nach denen sich etwa folgende prozentuale Verteilung ergibt.

1. Verteilung der Überspannungen:

- 60% waren nicht zeitgleich mit Netzfehlern, sie waren also weder Ursache noch Folge von Fehlern. Da im Netz normalerweise selten geschaltet wird, dürfte es sich dabei hauptsächlich um äußere Überspannungen handeln,
- 30% waren die Folge von aus anderen Ursachen eingetretenen Fehlern, also innere Überspannungen,
- 10% waren die Ursache von Fehlern, also für das Netz gefährliche Überspannungen. Eine Unterscheidung in äußere und innere Überspannungen ist hierbei nicht möglich.

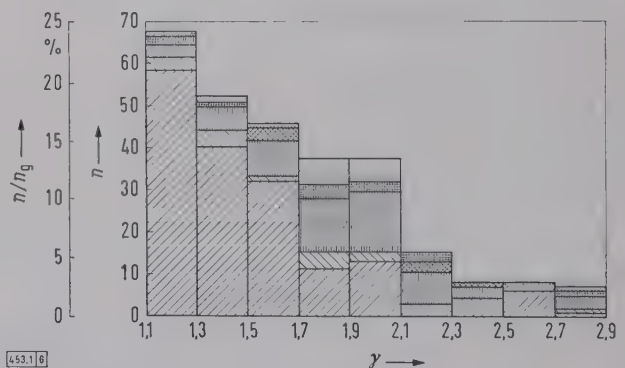


Bild 1. Höhe und Häufigkeit der Überspannungen aller drei Leiter und ihre Zuordnung zu den Netzfehlern.

n Anzahl der Überspannungen

n_g Gesamtzahl der Überspannungen

γ Überspannungsfaktor, bezogen auf den Scheitelwert der normalen Leiter-Erdspannung

Überspannungen bei:

■ Störungen mit Stromunterbrechung

▨ Erdschlüssen (Überspannung im fehlerbehafteten Leiter)

▤ Erdschlußwischern (Überspannung im fehlerbehafteten Leiter)

▥ Erdschlüssen (Überspannungen nur in den fehlerfreien Leitern)

▧ Erdschlußwischern (Überspannungen nur in den fehlerfreien Leitern)

▩ Netzbetrieb ohne Fehler

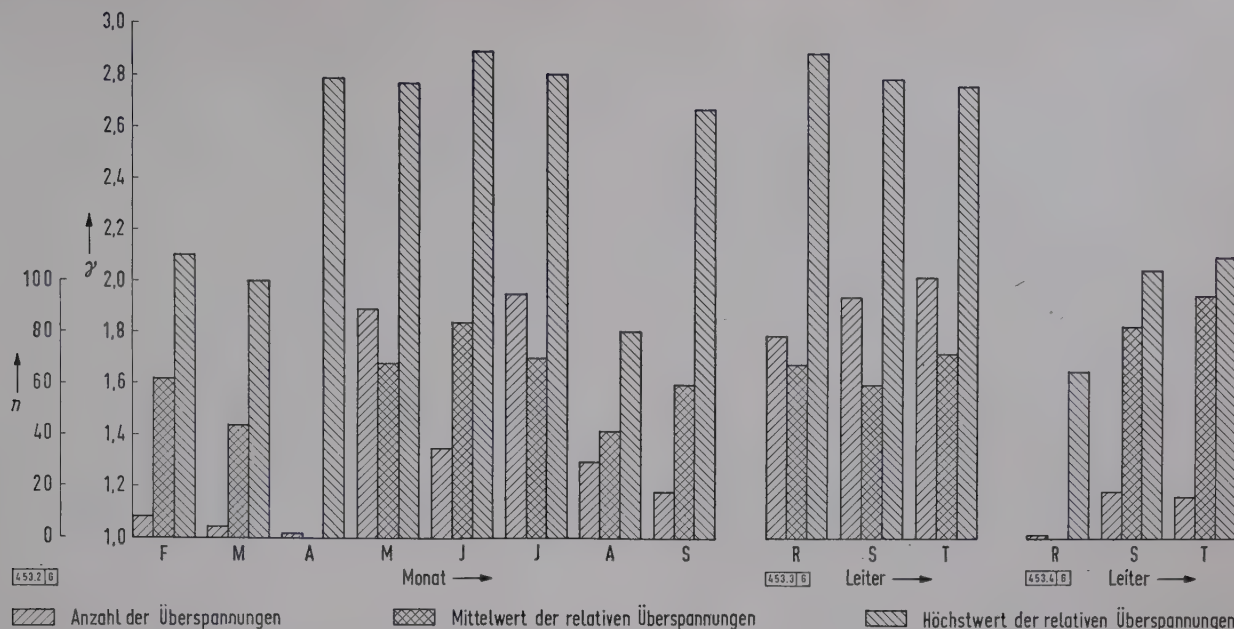
2. Verteilung der Netzfehler:

- 25% der Netzfehler wurden durch Überspannungen verursacht,
- 75% entfielen auf andere Ursachen.

Die Gesamtzahl der Netzfehler unterteilt sich wie folgt:

- 15% waren eigentliche Störungen mit Stromunterbrechung,
- 85% waren Erdschlüsse und Erdschlußwischer, bei denen die Fehlerstelle nicht immer gefunden wurde.

Bei den erwähnten 75% der Netzfehler mit „anderen Ursachen“ handelt es sich — abgesehen von äußeren nicht-

Bild 2. Anzahl n , Mittelwerte und Höchstwerte der relativen Überspannungen γ in den Monaten Februar bis September 1959.Bild 3. Anzahl n , Mittelwerte und Höchstwerte der relativen Überspannungen γ in den Leitern R, S und T.Bild 4. Anzahl n , Mittelwerte und Höchstwerte der relativen Überspannungen γ in den Leitern R, S und T bei Erdschlußversuchen am Leiter R.

elektrischen Einflüssen — hauptsächlich um langsam oder schnell fortschreitende Isolationsminderungen einzelner Anlagenteile. Diese Feststellung stimmt auch gut überein mit den oszillographischen Auswertungen eines bereits in verschiedenen Gebieten des Mittelspannungsnetzes der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Mitteldeutschland benutzten Magnetband-Störungsschreibers.

Die meisten Erdschlüsse begannen ziemlich genau in dem Zeitpunkt, in dem die Leiter-Erdspannung des fehlerbehafteten Leiters ihren Scheitelwert durchlief, ohne daß eine vorangehende Überspannung zu erkennen war. Nach dem Fehlereintritt folgten Überspannungen in den fehlerfreien Leitern durch Umladeschwingungen des Netzes. Eine graphische Darstellung der Meßergebnisse zeigt Bild 1 bis 4.

Zusammenfassung

Die vom Überspannungs-Punktschreiber registrierte Höhe der Überspannungen gilt nur für den Meßort selbst, grundsätzlich jedoch nicht für andere Orte im Netz. An den Fehlerorten können also die Überspannungen höher oder niedriger gewesen sein als die registrierten Werte. Unter „Fehler im Netz“ sind nicht nur eigentliche Störungen mit Stromunterbrechung erfaßt, sondern auch die zahlenmäßig weit überwiegenden Erdschlüsse und Erdschlußwischer.

Der zeitrichtige Vergleich der Registrierungen des Überspannungs-Punktschreibers mit den Registrierungen eines Störungsschnellschreibers und die Feststellung, in welchen Fällen die Überspannungen Ursache oder Folge von Fehlern waren, führen zu dem Ergebnis, daß nur rd. 10 % der nach dem beschriebenen Verfahren ausgewerteten Überspannungen Fehler im Netz verursacht haben. Die Ursache der übrigen Fehler liegt, außer in äußeren nichtelektrischen Einflüssen, zum überwiegenden Teil in langsam oder schnell fortschreitenden Isolationsminderungen einzelner Anlagenteile.

Aussprache

D. Kind, Bamberg: Es ist heute wiederholt vom Spitzenspannungsmesser der AEG gesprochen worden. Ich möchte mir deshalb erlauben, auf ein anderes Gerät hinzuweisen, das die gleichen Aufgaben zu erfüllen vermag, nämlich auf

die Stoßspannungs-Schreibeinrichtung¹⁾ der Meßwandler-Bau GmbH, Bamberg. Bereits 1954 sind die ersten dieser Geräte versuchsweise in Hochspannungsnetze eingebaut worden, und in den letzten Jahren kamen sie in steigendem Umfang zum erfolgreichen Einsatz.

Diese Schreibeinrichtung arbeitet auch mit einem kapazitiven Spannungsteiler. Der Hochspannungskondensator wird allerdings meist nicht durch einen eigenen Meßkondensator gebildet, sondern es wird aus wirtschaftlichen Gründen oft eine Transformatordurchführung, eine Stromwandlerspule oder ein Koppelkondensator benutzt. Der einlaufende Hochspannungsimpuls wird nach Spannungsteilung auf einen Kondensator umgeladen, der über ein Koaxialkabel und

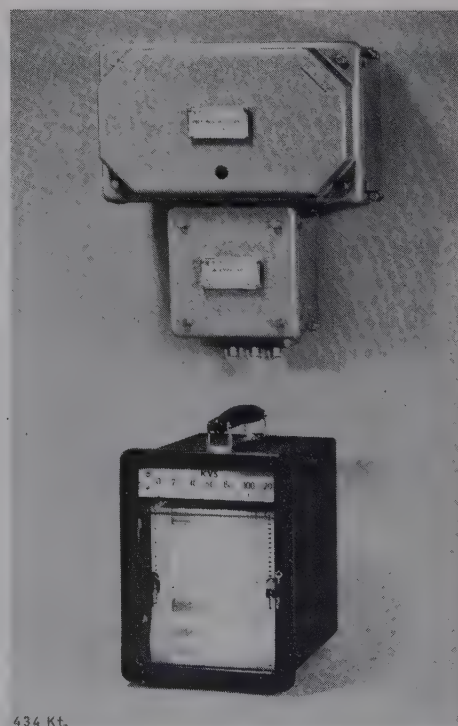


Bild 5. Stoßspannungs-Schreibeinrichtung.

1) Freitag, J.: Scheitelspannungs-Meßeinrichtung. Techn. Mitt. Meßwandler-Bau, Bamberg, H. 24 B, April 1960.

eine Diodenschaltung dem Unterkondensator parallel geschaltet ist; hierdurch wird eine Dehnung des Impulses bewirkt. Der Umladekondensator steuert leistungslos einen Gleichstromverstärker, an dessen Ausgang ein Schreiber mit normalem Drehspulmeßwerk einen der Impulsamplitude proportionalen Ausschlag gibt. Durch ein Relais wird der Ausschlag selbsttätig nach etwa 5 s wieder gelöscht. Im Scheitel abgeschnittene Wellen der Form $1/50\mu\text{s}$ werden noch ohne wesentliche Fehler gemessen; das gleiche gilt für sehr lange Wellen bis einige Millisekunden Rückenzeit. Die Meßgenauigkeit beträgt in diesem Bereich mit Rücksicht auf den Schreiber etwa $\pm 6\%$. Bei kürzeren Wellen ergibt die Messung zu kleine, bei längeren Wellen zu große Werte.

Bild 5 zeigt die Stoßspannungs-Schreibereinrichtung ohne Spannungsteiler. Die oberhalb des Schreibers abgebildeten wetterfesten Gußkästen enthalten den Impulsumformer einschließlich Gleichstromverstärker und einen Isoliertransformator. Mit Rücksicht auf die Meßgenauigkeit soll der Impulsumformer in unmittelbarer Nähe des Spannungsteilers angebracht werden, während der Schreiber selbst in beliebiger Entfernung, z. B. in einer Schaltwarte, aufgestellt sein kann.

Eingedenk der Mahnung von H. Baatz, daß hier weniger über Meßgeräte als vielmehr über Meßergebnisse gesprochen werden soll, möchte ich noch Ergebnisse von Messungen im Netz der Österreichischen Verbundgesellschaft erwähnen, die uns dankenswerterweise mitgeteilt wurden. Verglichen mit dem, was wir über die an anderen Stellen eingebaute Anzahl von Geräten gehört haben, kann man sagen, daß die Verbundgesellschaft erfreulich viele Meßpunkte eingerichtet hat, nämlich Geräte in 6 verschiedenen Stationen. Dieser Umstand verleiht den gewonnenen Ergebnissen ein besonderes Gewicht. Ich zitiere aus einem Bericht der Verbundgesellschaft über Untersuchungen in einem 110/220-kV-Netz einen als Zusammenfassung gedachten Absatz:

„Eine Durchsicht der Registrierstreifen der Stoßspannungs-Schreibereinrichtungen in 4 Umspannwerken, umfassend die erste Hälfte des Jahres 1959, hat ergeben, daß zumindest für diesen Zeitraum die Gewitterüberspannungen gegenüber Schaltüberspannungen sehr stark zurücktreten und wesentlich kleinere Überspannungsfaktoren erreichen

als jene. Die Gewitterüberspannungen liegen maximal in ihrer Höhe bei etwa 30 % der Ableiter-Ansprechspannung. Der größte Überspannungsfaktor anlässlich einer Leerlaufschaltung eines Transformators, der bisher registriert wurde, beträgt 3,1. Im übrigen lagen die Überspannungsfaktoren bei Schaltüberspannungen nicht wesentlich über 2,5.“

Wir finden bestätigt, daß die atmosphärischen gegenüber den inneren Überspannungen zurücktreten. Die Messungen haben ferner gezeigt, daß sich die Größe einer Schaltanlage mildernd auf die Höhe der Überspannungen auswirkt. In großen Anlagen waren die Überspannungsfaktoren im Durchschnitt kleiner als in kleinen Anlagen.

Es ist ferner die Frage gestellt worden, ob heute noch Klydonographen zur Registrierung von Überspannungen benutzt werden. Hierzu kann ich Ihnen von einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung berichten, in der ein von der General Electric Co. entwickeltes Gerät²⁾, das die Bezeichnung „Teinograph“ trägt, beschrieben ist. Es handelt sich hierbei um eine interessante Weiterentwicklung des Klydonographen; ich darf versuchen, die Wirkungsweise kurz anzudeuten:

Der ankommende Impuls, Stoßstrom oder Stoßspannung, läuft in eine aus Einzelelementen aufgebaute Verzögerungsleitung ein. An diese Laufzeitkette sind an mehreren Stellen, die passend gewählten Laufzeitabständen entsprechen, einzelne Klydonographen angeschlossen, die jedoch erst nach Eintreffen eines Auslöseimpulses zum Ansprechen gebracht werden. Der Auslöseimpuls wird für alle Meßstellen gleichzeitig von einem besonderen, vom Meßvorgang selbst angestoßenen Steuerkreis gegeben. Man erhält also einen Registrierstreifen mit mehreren Lichtenbergischen Figuren mit bekannter zeitlicher Zuordnung, deren Auswertung den zeitlichen Verlauf und die Amplitude des Stoßvorganges liefert.

Das Gerät benötigt keinen Netzanschluß und kann z. B. an die Blitzauffangstange von Masten angebaut werden. Im vergangenen Jahr wurden bereits 19 dieser Geräte in dem 345-kV-Netz der Ohio Valley Electric Corporation eingesetzt.

²⁾ Price, W. S., u. Anderson, J. G.: Teinograph catches lightning's autograph. Electr. Wld. Bd. 153 (1960), H. 12, S. 80–81.

Der parametrische Verstärker

DK 621.375.126

Das Prinzip des parametrischen Verstärkers beruht im wesentlichen auf einer Mischerschaltung, die aus einem Signalkreis, einem Pumpkreis und einem sogenannten Blindkreis besteht¹⁾. Durch die Reihenresonanzkreise werden sinusförmige Steuerströme erzwingen, die z. B. eine nicht-lineare Induktivität durchfließen. Dabei entsteht in den drei Schwingkreisen neben Signalfrequenz und Pumpfrequenz nur eine Mischfrequenz. Diese mischt sich mit der Pumpfrequenz wieder zur Signalfrequenz. Auf diese Weise wird eine Verstärkung des Signals erreicht. Daneben gibt es noch weitere Möglichkeiten einer Verstärkung, die alle auf dem Mischprinzip beruhen.

Der Vorteil dieser Verstärker besteht darin, daß keine bewegten Ladungsträger gebraucht werden, und daß sie deshalb rauscharm sind. Die Verstärkung ist nahezu dem Quadrat der Pumpfrequenz proportional. Man braucht also eine Energiequelle von hoher Frequenz, die außerdem ein Vielfaches der Signalfrequenz ist. Man verwendet deshalb diese Verstärker im Megahertz-Bereich.

Die Verfasser untersuchten zunächst drei Fälle theoretisch und zwar, daß

1. die Differenzfrequenz von Signal- und Pumpkreis verwendet wird,
2. die Summenfrequenz verwendet wird,
3. bei Verwendung der Differenzfrequenz der Signalkreis gedämpft, d. h. breitbandig ist.

Sie zeigen, daß im ersten Fall die Signalfrequenz verstärkt wird., im zweiten Fall sowohl vom Pumpkreis als auch vom Signalkreis Energie mit Summenfrequenz abgegeben wird, und daß im dritten Fall wie üblich Breitbandigkeit auf Kosten selektiver Verstärkung erzielt wird. Dann werden Messungen an einer Zenerdiode beschrieben, die im Sperrbereich die gewünschte spannungsabhängige Kapazität zeigte. Es stellte sich heraus, daß sich eine Bedämpfung des Mischfrequenzkreises (Blindkreises) nachteilig auswirkt, da die Verstärkung empfindlich abnimmt. Abschließend wird ein historischer Überblick gegeben.

Der Aufsatz ist für jeden einfach zu lesen, der mit der mathematischen Behandlung von Mischvorgängen vertraut ist.

Rhz

¹⁾ Nach Elsner, R., u. Pungs, L., u. Steiner, K.-H.: Frequenz Bd. 14 (1960) H. 2, S. 59–67; 14 B., 21 Qu.

VERBANDSNACHRICHTEN

VDE

Verband Deutscher Elektrotechniker

Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6

Fernruf: 43 31 57; Fernschreiber (Telex) 04—12 871;

Telegramm-Kurzanschrift: Elektrobund;

Postcheckkonto: Frankfurt a. M. 388 68.

Entwurf VDE 0411/...60 „Regeln für elektronische Meßgeräte“ Teil 1 „Schutzmaßnahmen und Sicherheitsbestimmungen“

Der Arbeitsausschuß „Elektronische Meßgeräte“ der VDE-Kommission „Elektrische Meßgeräte“ hat unter Vorsitz von Dr.-Ing. P. E. Klein den Entwurf des Teiles 1 von VDE 0411 ausgearbeitet. Es ist beabsichtigt, diesen Entwurf zum 1. April 1961 in Kraft zu setzen.

Der Entwurf kann unter der Bezeichnung VDE 0411 Teil 1/...60 vom VDE-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, zum Preise von 1,50 DM bezogen werden.

Einsprüche gegen den Entwurf sowie gegen den Termin für seine Inkraftsetzung können bis 15. Oktober 1960 der VDE-Vorschriftenstelle eingereicht werden (doppelte Ausfertigung erbeten).

Der Kommissionsvorsitzende
Eggers

VDE-Vorschriftenstelle
Weise

Entwurf für die Neufassung von VDE 0631 „Bestimmungen für Temperaturregler und Temperaturbegrenzer“

Die VDE-Kommission 0631 unter Vorsitz von Dr.-Ing. Walther hat VDE 0631 überarbeitet. Es ist beabsichtigt, die neue Fassung von VDE 0631 am 1. 1. 1961 in Kraft zu setzen. Die zur Zeit gültigen Bestimmungen VDE 0631/1933 „Leitsätze für Temperaturbegrenzer und Temperaturregler“, VDE 0631 Teil 2/12. 54 „Regeln für Temperaturwächter für Kühlgeräte“ und VDE 0720 Teil 7/1. 59 „Vorschriften für Elektrowärmegeräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke, Teil 7 Sondervorschriften für Temperaturregler, Temperaturbegrenzer und Sicherheits-Temperaturbegrenzer für Elektrowärmegeräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke“ sollen am 31. 12. 1962 ungültig werden.

Der Entwurf der Neufassung kann unter der Bezeichnung VDE 0631/...60 vom VDE-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, zum Preise von 2,10 DM bezogen werden.

Einsprüche gegen den Entwurf sowie gegen den geplanten Termin für das In- und Außerkraftsetzen können bis zum 31. Oktober 1960 bei der VDE-Vorschriftenstelle, Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6, eingereicht werden (doppelte Ausfertigung erbeten).

Der Kommissionsvorsitzende
Walther

VDE-Vorschriftenstelle
Weise

VDE-Verlag GmbH

Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33

Neu erschienen ist:

VDE-Schriftenreihe Heft 12:

Erläuterungen zu den Vorschriften für Leuchten VDE 0710/10. 59 mit Hinweisen auf vorschriftsmäßige Anwendung von Leuchten. 61 S., DIN A 5 mit 58 B. und 2 Taf. kart. DM 4,—

Nachrichtentechnische Gesellschaft im VDE

Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6

NTG-Fachtagung in Karlsruhe vom 11. bis 14. April 1961

Die Nachrichtentechnische Gesellschaft im VDE veranstaltet vom 11. bis 14. April 1961 eine Fachtagung, an der sich die beiden nachstehend genannten Fachausschüsse beteiligen:

1. NTG-Fachausschuß 1 „Informations- und Systemtheorie“ (Leiter: Dr.-Ing. H. Marko, Stuttgart-Zuffenhausen).
Rahmenthema: „Aufnahme und Verarbeitung von Nachrichten durch Organismen“.
2. NTG-Fachausschuß 6 „Informationsverarbeitung“ (Leiter: Dr. rer. nat. H. Billing, München).
Rahmenthema: „Lernende Automaten“.

Fachkollegen, die sich mit Referaten aus den genannten Sachgebieten an der Fachtagung beteiligen wollen, werden gebeten, dies spätestens bis zum 30. September 1960 unter Beifügung einer

kurzen Inhaltsangabe ihres Vortrages an eine der folgenden Anschriften mitzuteilen:

zu 1: Dr.-Ing. H. Marko, Stuttgart-Zuffenhausen, Hellmuth-Hirth-Straße 42;

zu 2: Prof. Dr.-Ing. K. Steinbuch, Karlsruhe, Kaiserstraße 12, Institut für Nachrichtenverarbeitung und Nachrichtenübertragung der Technischen Hochschule.

Die Themen der Einzelvorträge sind aus der Einladung zur Fachtagung ersichtlich, die allen Mitgliedern der NTG zur gegebenen Zeit zugehen wird. Nichtmitglieder können die Programm- und Anmeldeunterlagen bei der Tagungsgeschäftsstelle [Büro Dr.-Ing. J. Tröger, Karlsruhe-West, Rheinbrückenstr. 50, (Siemens & Halske AG)] schriftlich anfordern. Es wird gebeten, von telefonischen Anforderungen abzusehen.

Nachrichtentechnische Gesellschaft im VDE
Geschäftsführung
Burghoff

ERLÄUTERUNGEN ZU VDE-BESTIMMUNGEN

Neubearbeitung der Bestimmungen für Temperaturregler und Temperaturbegrenzer – VDE 0631 –

Von Hans Walther, Frankfurt a. M.*

DK 62-555.621.7VDE

Bei den modernen Haushaltgeräten werden zunehmend Temperaturregler und Temperaturbegrenzer verwendet. Im Jahre 1931 waren erstmals Leitsätze (VDE 0631) für solche Regler geschaffen worden, die dem damaligen Stand der Technik entsprachen. Bei deren Aufstellung konnten jedoch die rasche Weiterentwicklung der Gerätetechnik und die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten derartiger Bauelemente nicht vorausgesehen und dementsprechend auch nicht berücksichtigt werden.

Der Technische Ausschuß des VDE hatte daher vor einigen Jahren auf mehrfachen Antrag die Bildung einer neuen VDE-Kommission 0631 beschlossen mit dem Ziele, umfassende Bestimmungen aufzustellen, die dem neuesten Stand der Entwicklung angepaßt sind. Unabhängig davon waren bereits die „Regeln für Temperaturwächter für Kühlgeräte“ (VDE 0631 Teil 2) und „Sondervorschriften für Temperaturregler, Temperaturbegrenzer und Sicherheits-Temperaturbegrenzer für Elektrowärmegeräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke“ (VDE 0720 Teil 7/1. 59) geschaffen worden, damit die für Haushaltgeräte bestehende Lücke zunächst geschlossen werden konnte. Die neuen Bestimmungen VDE 0631 sollen alle diese Sonderbestimmungen in einer Vorschrift zusammenfassen und sie nach einer ausreichenden Übergangsfrist ersetzen. Diese Arbeiten sind jetzt abgeschlossen und werden der Öffentlichkeit mit einer Einspruchsfrist bis zum 31. Oktober 1960 vorgelegt.

Obwohl die meisten Bestimmungen für alle Temperaturregler und Temperaturbegrenzer — unabhängig von ihrem Verwendungszweck — in gleicher Weise gelten, gibt es doch einige Ausnahmen, die je nach der Verwendung der Temperaturregler und Temperaturbegrenzer abweichend voneinander festgelegt werden mußten. Es bleibt der Entwicklung überlassen, ob später weitere Vereinheitlichungen möglich sind.

Bei der Bearbeitung ergaben sich gewisse Schwierigkeiten, da es sich bei den Temperaturreglern und Temperaturbegrenzern im allgemeinen nicht um selbständige Geräte handelt, wie dies z. B. beim Installationsmaterial häufig der Fall ist, sondern um Einbaugeräte, deren Arbeitsweise, Kenndaten und Sicherheit im wesentlichen durch das Gerät, in das sie eingebaut sind, bestimmt werden. Die Verhältnisse liegen hier ähnlich wie bei den Industriechaltgeräten.

Damit man die Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten und die künftige Entwicklung nicht behindert, sollten die Bestimmungen keine einengenden Forderungen enthalten. Da aber die Temperaturregler und Temperaturbegrenzer in Geräten angewendet werden, die im Bereich der Haushaltstechnik liegen, mußten in der Neubearbeitung alle Bestimmungen aufgenommen werden, die auch bei einem unaufmerksamen Gebrauch der Geräte deren gefahrlose Benutzung sicherstellen.

Die vorstehenden Überlegungen treffen z. B. schon für die Vorschriften zu. Die Nenndaten der Temperaturregler und Temperaturbegrenzer sind sehr stark von der Art der Verwendung im Gerät abhängig, so daß auf die Forderung verzichtet wurde, die sonst bei derartigen Geräten üblichen Angaben auf dem Leistungsschild

*) Dr.-Ing. H. Walther ist Vorsitzender der VDE-Kommission 0631 „Temperaturregler und Temperaturbegrenzer“.

anzubringen. Es soll vielmehr zugelassen werden, die Temperaturregler und Temperaturbegrenzer nur mit dem Ursprungszeichen und dem Typ oder der Katalognummer zu kennzeichnen, wenn aus den zugehörigen Firmenlisten die übrigen Daten eindeutig erkennbar sind.

Soweit Temperaturregler und Temperaturbegrenzer als fester Bestandteil eines Gerätes anzusehen sind, brauchen sie keine Aufschriften zu tragen, da sie entweder überhaupt nicht ausgewechselt oder nur durch ein gleichwertiges Gerät desselben Herstellers ersetzt werden können.

Da Temperaturregler und Temperaturbegrenzer häufig zum Schalten von Motoren bzw. anderen induktiven Stromkreisen verwendet werden, wurde bei der Festlegung des Schaltvermögens unterschieden zwischen solchen Geräten, die nur für induktionsfreie Belastung bestimmt sind und solchen, die auch induktive Stromkreise schalten müssen. Die Bestimmungen für die Prüfung des Schaltvermögens für induktive Belastung wurden in Anlehnung an geplante internationale Festlegungen für ähnliche Geräte aufgestellt. Das Abschaltvermögen wird dabei mit dem 6-fachen Nennstrom bei 1,1-facher Nennspannung und $\cos \varphi = 0,6$, das Einschaltvermögen mit dem 9-fachen Nennstrom bei 1,1-facher Nennspannung und $\cos \varphi = 0,6$ geprüft. Damit soll den Einschaltspitzen, die bei den verschiedenen Motorarten auftreten können, Rechnung getragen werden.

Zu einer einheitlichen Festlegung von Kriech- und Luftstrecken konnte sich die Kommission nicht entschließen, da die Verhältnisse, beispielsweise in einem Haushaltgerät, in dem betriebsmäßig zusätzliche Feuchtigkeitsbeanspruchungen auftreten, anders beurteilt werden müssen als in einem Gerät, in dem eine völlig trockene Atmosphäre die Regel ist. Es wurden daher bei den Kriech- und Luftstrecken — je nach Art des Gerätes — drei verschiedene Gruppen gebildet.

Den allgemeinen Bestimmungen wurden außerdem noch Sonderbestimmungen angefügt und zwar für Sicherheits-Temperaturbegrenzer und für Raumtemperaturregler, die für fest eingebaute und elektrisch geregelte Raumheizungsanlagen (DIN 4755 und 4787) bestimmt sind. Für diese beiden Gruppen werden einige zusätzliche Bestimmungen notwendig, die für die übrigen Temperaturregler und Temperaturbegrenzer nicht notwendig sind.

Da mit Temperaturregler und Temperaturbegrenzer noch nicht genügend Erfahrungen vorliegen, sind einige Bestimmungen als „Leitsätze“ gekennzeichnet worden. Es ist jedoch möglich, daß bereits im Zuge der Einspruchberatungen die Herausgabe der ganzen Arbeit als „Vorschrift“ beschlossen wird.

PERSÖNLICHES

A. Lompe. — Dir. Dr. Arved Lompe wurde zum Honorarprofessor an der TU Berlin ernannt. Professor Lompe, der die Osram-Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung leitet, hat sich durch seine Arbeiten über die Gasentladungsphysik einen Namen gemacht. Er wird über dieses Gebiet Vorlesungen halten.

H. Müller. — Am 10. Juni dieses Jahres hat Professor Dr.-Ing. Harald Müller seinen 65. Geburtstag gefeiert. Geboren in Ekersbach im Vogtland, studierte Müller an der TH Dresden Elektrotechnik und promovierte dort 1924. Während seiner Tätigkeit in der Industrie habilitierte er sich 1930 für Technische Physik an der Universität Jena und hielt dort Vorlesungen. Bis 1935 war er Direktor und Leiter der Versuchsfelder der Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren-Gesellschaft. Dann berief ihn der VDE zum Wissenschaftlichen Leiter der „Elektrotechnischen Zeitschrift“, und er wurde Herausgeber des „Archivs für Elektrotechnik“. Müller hielt in den Jahren 1935 bis 1938 Vorlesungen an der Berliner Universität und seit 1938 Vorlesungen über das Gebiet der Elektrowärme an der TH Dresden. Der Krieg unterbrach seine dortige Hochschullaufbahn.



Nach dem Kriege wurde Müller zum Wissenschaftlichen Leiter des Elektrowärme-Institutes in Essen berufen, dessen Wiederaufbau ihm im großen Maße zu verdanken ist. Seit 1946 hält er Vorlesungen an der TH Braunschweig und außerdem seit 1950 an der TH Aachen. Durch seine aktive Mitarbeit in den VDE-Ausschüssen und in den Arbeitsausschüssen der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) ist die Anwendung der Elektrowärme gefördert worden. Müller hat wesentlich dazu beigetragen, daß Deutschland 1953 als vollwertiges Mitglied in die Internationale Elektrowärme-Union (UIE), deren Vizepräsident er ist, aufgenommen wurde. Für seine Verdienste um die Forschung auf dem Gebiet der Elektrowärme ist ihm 1959 die Ehrenmedaille der UIE verliehen worden. Anlässlich des 65. Geburtstages erhielt Prof. Müller das Große Verdienstkreuz der Bundesrepublik.

J. Schiifarth

M. Pirani. — Professor Marcello Pirani, Berlin, feierte am 1. Juli 1960 seinen 80. Geburtstag. Der gebürtige Berliner, der bereits 1918 an der Technischen Hochschule seiner Heimatstadt Titular-Professor wurde, genießt als Fachmann auf dem Gebiet der Gasentladung und Herstellung von Gasentladungslampen internationalen Ruf. Ein von ihm entwickeltes Gerät zum Messen kleinster Gasdrücke ist als „Pirani-Manometer“ allgemein bekannt. 1928 wurde Prof. Pirani bei Osram mit der Leitung der „Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung“ betraut, in deren Händen die Forschung des Unternehmens liegt. In Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern schuf er dort die Grundlagen für die Herstellung der ersten Leuchtstofflampen. Auch die in der Straßenbeleuchtung mehr und mehr Eingang findenden Natriumdampf- und Quecksilberdampf-Hochdrucklampen gründen sich auf Forschungen Professor Piranis.

Der Jubilar ist heute Ehrenmitglied angesehener internationaler und deutscher wissenschaftlicher Gremien.

fi

L. Schätz. — Am 8. Juni 1960 vollendete Leopold Schätz sein 70. Lebensjahr. — Als ich kürzlich meinen Freund Schätz besuchen wollte, traf ich ihn nicht in seinem Hause an, das er sich schon in jungen Jahren in seiner niederbayerischen Heimat als Alterssitz erbaut hatte, vielmehr wurde ich in einen gegenüberliegenden Schuppen gewiesen, aus dem mir eifriges Hämmern entgegenkante. Dort fand ich ihn vor einem nicht gerade kleinen Holzklotz sitzend, dem er bemüht war die Gestalt einer Madonna mit Christuskind zu geben. So füllt ein erfolgreicher Ingenieur, den der Generaldirektor der AEG anlässlich seines 40-jährigen Dienstjubiläums den beispielhaften Fabrikdirektor genannt hatte, seine auch im Alter spärlich genug bemessenen Mußstunden aus. Wirkt unser Geburtstagskind auch hier nicht beispielhaft?

Leopold Schätz wurde am 8. Juni 1890 in Penning im Rothal als erstes von 11 Kindern eines angesehenen Guts- und Ziegeleibesitzers geboren. Nach Ablauf der ersten Volksschuljahre wurde er auf die kgl. landwirtschaftliche Schule in Pfarrkirchen geschickt, wo er im Jahre 1906 die Berechtigung zum einjährig-freiwilligen Militärdienst erwarb. Eine anschließende etwa einjährige Tätigkeit in der elterlichen Ziegelei ließ seine Berufung zum Ingenieur zum Durchbruch kommen. So kam es, daß der damals 17-jährige, der inzwischen seinen Vater verloren hatte, auf sein Erstgeburtsrecht verzichtete und das Ohm-Polytechnikum in Nürnberg besuchte, um dort Elektrotechnik zu studieren. Nach erfolgreich bestandener Abschlußprüfung im Juli 1909 trat er seine erste Stellung als Prüffeldingenieur im Nürnberger Transformatorenwerk der Siemens-Schuckertwerke an. Seine zweite Stellung als Konstrukteur bei den Mitteldeutschen Elektrizitätswerken im Jahre 1911 war nur von kurzer Dauer, aber insofern schicksalhaft als Schätz in Saalfeld seine Gattin kennenlernte, mit der er bis heute in glücklichster Ehe verbunden ist.

Die große berufliche Entwicklung von Schätz setzte mit seinem Eintritt am 15. Oktober 1911 in die AEG ein, wo er eine Tätigkeit als Prüffeldingenieur in der damals zum Verband der Fabriken Brunnenstraße gehörigen Transformatorenfabrik begann. Er unterbrach diese Tätigkeit zweimal; einmal für die Dauer des ersten Weltkrieges, an dem



er als Kriegsfreiwilliger teilnahm, sodann in der Zeit vom 1. Januar 1920 bis 3. Dezember 1921, als er den Transformatorenbau des Sachsenwerkes, der späteren AEG-Tochtergesellschaft, leitete und in Niedersiedlitz eine sehr moderne Transformatorenfabrik baute.

Am 1. Januar 1922 kehrte Schätz wieder zur AEG zurück, die ihm unter Ernennung zum Oberingenieur die Leitung der Werkstätten der inzwischen als selbständige Fabrik nach Berlin-Oberschöneweide verlegten Transformatorenfabrik (TRO) anvertraute. Hier hat Schätz Grundlegendes geschaffen, sowohl was Werkstattorganisation und Fertigungsmethoden als insbesondere auch die Trockenbehandlung der Transformatoren betraf. In diese Zeit seiner Tätigkeit fiel die Erhöhung der Betriebsspannung der Transformatoren auf 220 kV und die Steigerung ihrer Leistung auf 120 MVA. Die Erfolge seiner Bemühungen blieben nicht unbemerkt, und so holte ihn der damalige Fabrikenchef der AEG, Professor Petersen, als seinen persönlichen Assistenten in die Fabrikenleitung, in der er vom 1. Oktober 1933 bis zum 13. Juli 1934 tätig war, um dann die technische Leitung der Apparatefabriken Treptow zu übernehmen. In dieser großen Fabrik mit zuletzt mehr als 10 000 Belegschaftsmitgliedern und mit einem außerordentlich vielseitigen Fertigungsprogramm war Schätz als Fabrikdirektor von Anfang an vor schwerste Aufgaben gestellt. Darüber, wie er diese mit eisernem Fleiß, Geschick und Können meisterte, gibt es bei seinen früheren Mitarbeitern und Vorgesetzten nur eine Stimme der Anerkennung. Es war eine Tragik, daß er im Jahre 1945 das von ihm zu großer Blüte gebrachte Werk als unter russischer Verwaltung stehenden Trümmerhaufen verlassen mußte, um sich im Westen am Wiederaufbau der AEG zu beteiligen.

Nach der Erledigung allgemeiner Aufgaben wurde Schätz im Mai 1946 der Wiederaufbau der in Nürnberg gelegenen AEG-Fabrik für Elektrobeheizung übertragen. Es nötigt Bewunderung ab, wie es ihm in wenigen Jahren gelang, diese Fabrik, die früher zu den kleineren Fabriken der AEG zählte, zu einer der größten und ertragreichsten Fabriken seiner Firma zu entwickeln. Mit diesem Erfolg hat Schätz den Schlußstein seines Lebenswerkes gesetzt; er trat am 30. September 1956 in den wohlverdienten Ruhestand.

Die Lebensbeschreibung des nunmehr 70-jährigen wäre unvollständig, ohne den Menschen Schätz zu würdigen. Er hat seine Abstammung aus einer alteingesessenen und seit Generationen angesehenen ländlichen Familie nie verleugnet, und so war er bei strenger Berufsauffassung doch allem Guten und Schönen zugetan. Der Unterzeichnete, der sich ihm in nunmehr 50-jähriger Freundschaft herzlich verbunden fühlt, hat mit ihm in jungen Jahren manche Fußwanderung durch die schöne Mark Brandenburg und auch anderswo gemacht und zählt die Erinnerungen an die ihm dabei aufgegangenen Naturschönheiten zu den schönsten seines Lebens. Der künstlerischen Betätigung unseres Geburtstagskindes, die sich durchaus nicht immer auf biblische Motive beschränkte, wurde bereits gedacht. Ferner verfügt Schätz über eine beachtliche Sammlung von Gesteinen und Versteinerungen, zu der Funde in der Lehmgrube der elterlichen Ziegelei den Grund legen.

Seinen Untergebenen gegenüber war Schätz streng, aber gerecht und stets fürsorgbereit; ihre guten Wünsche vereinigen sich mit denen seiner vielen Freunde und mit denen des Unterzeichneten: Mögen unserem Leopold Schätz und seiner Gattin noch viele Jahre der Gesundheit und eines stillen Glücks beschieden sein.

J. Biermanns

R. Schier. — Am 28. Juni 1960 vollendete Richard Schier sein 70. Lebensjahr. Der weithin bekannte Fachmann auf dem Gebiet der Sintermetalle und der Kontakttechnik ist gebürtiger Schlesier. Die Tätigkeit bei Siemens in den Jahren 1911 bis 1927 als Konstrukteur, Oberingenieur und dann als Leiter des Konstruktionsbüros für Zündapparate und Zündkerzen war richtungsweisend für seine weitere Entwicklung. Im Jahre 1927 gründete er die Firma Richard Schier, Elektro-Metallwerk, Berlin-Neukölln. Die Herstellung und Verarbeitung hochwertiger Metalle und die Fertigung sämtlicher Kontakte für die Elektrotechnik bildeten das Arbeitsprogramm dieses Unternehmens.

Obwohl Schier infolge des unglücklichen Kriegsausganges durch den Verlust seiner Fertigungsstätten in Schlesien und Berlin praktisch vor dem Nichts stand, hat er durch unermüdete Arbeit seine beiden Fertigungsstätten in Berlin-Neukölln und München-Dachau wieder zu einem Unternehmen von Geltung aufgebaut. Als er nach dem Kriege in den Vorstand der Bayerischen Metallwerke AG, München-Dachau, berufen wurde, galt seine Arbeitskraft auch noch diesem Unternehmen, und die Entwicklungsarbeiten nehmen ihn heute noch voll in Anspruch.

Möge der Jubilar noch lange erfolgreich seinen beiden Unternehmen vorstehen können.

N. Hammerl

BÜCHER

DK 725.19 : 658.23 : 002.2(021)=3

Große Dampfkraftwerke. Planung, Ausführung und Bau. Bd. 1: Kraftwerksatlas mit Kennwerten von 200 Kraftwerken, 98 Kraftwerksbeschreibungen und 6 Ausführungsbeispielen. Von K. Schröder. Mit 1088 S., 978 B., Format 20,5 cm × 28 cm. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1959. Preis Ganzln. 192,— DM.

Der Herausgeber, der Fachwelt als Direktor der Kraftwerksabteilung der SSW bestens bekannt, hat mit Unterstützung seiner Mitarbeiter den Versuch unternommen, Planung, Ausführung und Bau großer Dampfkraftwerke in einem großzügig angelegten zweibändigen Werk zu behandeln. Der als erster Band vorgelegte Kraftwerksatlas mit rd. 1000 Seiten bringt als ersten Teil eine Übersicht über Technik und Wirtschaftlichkeit von 200 neuzeitlichen Dampfkraftwerken aus 21 Ländern, davon 90 Kraftwerke aus den USA und 59 Kraftwerke aus der Bundesrepublik Deutschland. Im zweiten Teil werden auf jeweils sechs Seiten 90 Kraftwerke, unter anderem 25 Werke aus den USA und 34 Werke aus der Bundesrepublik, beschrieben. Außer Lageplan, Grundriß, Schnitten und einer Architekturskizze enthalten die Darstellungen neben einer Zusammenstellung technischer Daten den Wärmegrundschaltplan, vielfach auch den elektrischen Übersichtsschaltplan und das entsprechende Schrifttum. Als Ausführungsbeispiele sind im dritten und letzten Teil die Kondensationskraftwerke Eddystone, Fortuna, Emden, Gallatin, Città della Roma und San Nicolas ausführlich behandelt. Demzufolge werden Vorgeschichte und Aufgabenstellung, Brennstoffbereitstellung, äußerer und innerer Aufbau sowie die bau-, maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstungen eingehender erläutert und durch anschauliche Bilder ergänzt. Den Abschluß bildet eine Zusammenstellung der wichtigsten Kennwerte.

Der Kraftwerksatlas empfiehlt sich selbst; denn er bietet eine ausgezeichnete Übersicht über den Stand der gegenwärtigen Entwicklung und wird für jeden Kraftwerksbauer, der bisher aus dem internationalen Schrifttum die ihn interessierenden Angaben und Unterlagen mühsam zusammentragen mußte, ein wertvolles Hilfsmittel sein. Man darf gespannt den zweiten Band (Die Lehre vom Kraftwerksbau) erwarten.

Es wäre zu wünschen, wenn der Herausgeber und der Springer-Verlag, der das Buch in der traditionell hervorragenden Ausstattung herausgebracht hat, die Mühe und Arbeit nicht scheuen würden, den Kraftwerksatlas zu gegebener Zeit der jeweiligen Entwicklung anzupassen, damit er das Handbuch für den modernen Kraftwerksbau bleibt.

R. Meister

DK 621.3.014.31(023)=2

The Electric Arc. Methuen's monographs on physical subjects. Von J. M. Somerville. Mit 159 S., 38 B., 2 Taf., Format 11 cm × 17 cm. Verlag Methuen & Co., London, u. John Wiley & Sons Inc., New York 1959. Preis Ganzln. 12,6 sh.

Der Verfasser entwirft ein allgemeines physikalisches Bild der Vorgänge im Lichtbogen, wie es sich nach dem heutigen Stand der Forschung ergibt. Der Stoff ist in mehrere Kapitel unterteilt, die man jeweils zur Information in einem Zuge lesen sollte.

Die Ausführungen beginnen mit einem Überblick über die physikalischen Vorgänge in einer quasi-stabilen, langen Lichtbogensäule. Nach Erläuterung der theoretischen Zusammenhänge der Lichtbogensgrößen wird über die experimentelle Ermittlung und die charakteristischen Werte der Gas- und Elektronentemperaturen, Elektronen- und Ionendichten und der Spannungsgradienten in Abhängigkeit von Strom, Spannung und Gasdruck berichtet. Anschließend werden allgemein die Energietransportverhältnisse und insbesondere der Lichtbogen als Strahlungsquelle diskutiert. Als Sondergebiet werden die Möglichkeiten und der Stand der Versuche zur Erzeugung thermonuklearer Reaktionen mit Hilfe von Lichtbögen bis zum Stand von 1958 erläutert. Das Übergangsgebiet zwischen Lichtbogensäule und Elektroden wird in einem weiteren Abschnitt behandelt. In Ermangelung einer einheitlichen Theorie werden hier die bisher experimentell ermittelten Faktoren über Kathoden- und Anodenphänomene zusammengetragen und die wichtigsten theoretischen Deutungen skizziert: eine sehr gut verständliche Zusammenstellung über dieses Gebiet. Ein Abschnitt über die Einleitung von Lichtbögen schließt sich an. Besonders dem Funkenüberschlag von der Entstehung des Funkens über die Entwicklung des Funkenkanals in allen Stadien bis zum Lichtbogen wird ein breiter Raum zugestanden. Andere Einleitungsformen, wie Kontakttrennung, Glimmzündung und die Besonderheiten im Vakuum und bei sehr kurzen Lichtbögen werden nur gestreift.

Allgemein verständlich geschrieben ist dieses Taschenbuch für jeden, der sich über die zahlreichen Lichtbogenphänomene informieren will, sehr gut geeignet. Da die Plasmaforschung und damit der Lichtbogen neben der Elektrotechnik immer mehr Gebiete berührt, ist das Buch gerade für den Nichtfachmann zur Information auf dem aktuellen Gebiet sehr zu empfehlen. Für genaue Studien von Einzelgebieten ist ein geeigneter und aktueller Quellenachweis vorhanden.

W. Koch

DK 537.11

Physikalische Reihe. Bd. 3: Elektrizitätslehre. Von H. Schitt. Mit 216 S., zahlr. B. u. Taf., Format 17,5 cm × 25 cm. Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart 1959. Preis Ganzln. 24,— DM.

Die Absicht des Verfassers war, eine elementare Darstellung der Elektrizitätslehre zu geben, die jedoch von vornherein die Auffassungen und Vorstellungen der Maxwellschen Theorie berücksichtigt. Der Aufbau des Lehrbuches ist der auf dieser Stufe übliche: Elektrostatik, stationäres elektrisches Feld, stationäres magnetisches Feld und langsam veränderliche Felder, rasch veränderliche Felder. Den Bedürfnissen der Studenten der Physik wird in gleicher Weise Rechnung getragen wie denen der Studenten der Elektrotechnik. Beiden wird eine breite Grundlage für ihr späteres Studium gegeben, und es ist kaum etwas enthalten, was für den einen oder anderen als überflüssig angesehen werden könnte.

Die theoretische Seite ist in der Darstellung bevorzugt. Die einfacheren Dinge, zu denen auch die Integralformulierung der Maxwellschen Gesetze gerechnet seien, werden ausführlich behandelt. Ihre Differentialformulierung wird als Abschluß entwickelt; sie wird jedoch nicht angewendet, damit der elementare Charakter des Buches gewahrt bleibt. Durchweg werden Größengleichungen mit vier unabhängigen Dimensionen geschrieben. Im Anhang wird die Umrechnung auf andere Maßsysteme besprochen.

Bemerkenswert und für den Anfänger zweifellos wertvoll ist die unterschiedliche Kennzeichnung von polaren und axialen Vektoren. Eine große Zahl von Abbildungen belebt die Darstellung. Die Sprache ist knapp; gelegentlich hätten einige zusätzliche Worte den Gedankengang besser hervortreten lassen, so ist z.B. nicht leicht zu sehen, wo die vorletzte Formelzeile auf S. 49 herkommt. Vermißt wird der nützliche Begriff der eingepprägten elektrischen Feldstärke, der im Zusammenhang mit dem Thermoelement besonders einfach und anschaulich hätte entwickelt werden können. Der auf S. 74 erwähnte Thomson-Effekt ist nach Kenntnis des Referenten ein Wärmeeffekt, während der vom Verfasser tatsächlich gemeinte Effekt einen Beitrag zum thermoelektrischen Effekt darstellt.

Ungeachtet dieser Bemerkungen ist dieses Werk eine sehr geeignete Einführung in die Elektrizitätslehre. J. Meixner

DK 517.27 : 513.873.1 : 621.3.09.001.11(022.13)=2

Mathematical programming and electrical networks. Von J. B. Dennis. Mit 192 S., zahlr. B., Format 15,5 cm × 23,5 cm. Verlag John Wiley & Sons, Inc., New York, und Chapman & Hall Ltd., London 1959. Preis Ganzln. 4,50 \$.

Mathematical Programming ist hier im Sinn von linearer, quadratischer und nichtlinearer Programmierung, also als Extremalproblem mit Nebenbedingung in Ungleichungsform zu verstehen. Dieser in der Unternehmensforschung (Operations Research) so wichtige Zweig der angewandten Mathematik wird hier in Verbindung gebracht mit elektrischen Netzwerken, die außer Strom- und Spannungsquellen nur ohmsche Widerstände und Dioden, in gewissen Fällen auch Gleichstromtransformatoren enthalten. Es zeigt sich, daß entsprechend den hier anwendbaren Minimalprinzipien die Strom- bzw. Spannungsverteilungen in solchen Netzwerken Lösungen von Aufgaben des „mathematical programming“ sind. Es ist jedoch nicht so sehr der Zweck dieses Buches, Analogschaltungen für die Lösung dieser Probleme zu finden, als vielmehr anschauliche Gedankenschemata zu entwickeln, anhand deren viele der bekannten Algorithmen studiert und auch neue hergeleitet werden können. So zeigt sich auch hier wieder die Fruchtbarkeit anschaulicher Modelle.

Besonders Elektrotechnikern, die gewohnt sind, in Schaltungen zu denken, kann dieses hervorragende Buch zum Studieren der linearen und nichtlinearen Programmierung empfohlen werden.

H. Edelman

DK 681.142-83

Handbook of automation, computation, and control. Bd. 2: Computers and data processing. Mit etwa 1070 S., zahlr. B. u. Taf., Format 15,5 cm × 23,5 cm. Hrsg. E. M. Grabbe u. S. Ramo u. D. E. Wooldridge. Verlag John Wiley & Sons Inc., New York u. Chapman & Hall Ltd., London 1959. Preis Ganzln. 17,50 \$.

Auf fast 1000 Seiten wird von 41 Verfassern eine eingehende Darstellung der neuzeitlichen elektronischen Rechentechnik gegeben. Den größten Teil des Buches nehmen die digitalen Verfahren ein, die in ihrer Theorie, ihrem gerätetechnischen Aufbau und in ihren Anwendungsgebieten ausführlich behandelt werden. Allein der Abschnitt über das Programmieren und Codieren (Verfasser: John

W. Carr) beispielsweise umfaßt 270 Seiten. Auch die Analog-Rechner und vor allem die sonst selten erwähnten kombinierten Systeme (analog und digital) sind eingehend dargestellt. Jeder Abschnitt enthält viele Abbildungen und am Schluß ein ausführliches Schriftumsverzeichnis, im wesentlichen allerdings nur von amerikanischen Arbeiten. Das Buch ist nicht als Lehrbuch gedacht, sondern setzt beim Leser bereits gewisse Kenntnisse voraus. Für den deutschen Leser liegt die große Bedeutung des Buches auch darin, daß es zeigt, in welcher Art, in welchem Umfang und mit welchem Gewicht die einzelnen Teilgebiete der automatischen Rechentechnik heute in den USA gesehen werden.

Das Buch stellt für jeden, der auf diesem Gebiet arbeitet, eine äußerst wertvolle Unterlage dar. W. Oppelt

BUCHINGÄNGE

Nutzenergie aus Atomkernen. Einführung in Physik und Technik von Kernreaktor und Atomkraftwerk. Bd. 2. Von K. R. Schmidt. Mit 749 S., zahlr. B. und Taf., Format 17,5 cm × 24 cm. Verlag Walter de Gruyter & Co., Berlin 1960. Preis Ganzln. 124,— DM.

Gleichstrommaschinen. AEG-Handbücher Bd. 2. Mit 148 S., 149 B., 17 Taf., Format 15 cm × 21 cm. Hrsg. und Verlag Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin-Grünwald 1960. Preis Kunststoffeinh. 9,20 DM.

Grundzüge der Tensorrechnung in analytischer Darstellung. Tensoralgebra. Bd. 1. Von A. Duschek und A. Hochrainer. 4. Aufl. Mit 179 S., Format 13 cm × 21 cm. Springer-Verlag, Wien 1960. Preis brosch. 24,— DM.

Die Praxis der Kreis- und Leitungsdiagramme in der Hochfrequenztechnik. Von H. Geschwinde. Mit 60 S., 44 B., Format 15 cm × 21 cm. Franzis-Verlag, München 1959. Preis Ganzln. 10,80 DM.

Transistortechnik. Das internationale Standardwerk mit ausführlichen Angaben über den quantitativen Entwurf. Mit 460 S., zahlr. B. und Taf., Format 15,5 cm × 23 cm. Hrsg. R. F. Shea. Berliner Union, Stuttgart 1960. Preis Ganzln. 72,— DM.

Der Ingenieur und Techniker in Industrie und Wirtschaft. Taschenbuch. Mit 384 S., zahlr. Taf., Format 10 cm × 15 cm. Hrsg. Deutsche Angestellten-Gewerkschaft, Bundesberufsgruppe Technische Angestellte und Beamte. Hanseatische Verlagsanstalt GmbH, Hamburg 1960. Preis Kunststoffeinh. 3,20 DM.

Der Ingenieur und Techniker im öffentlichen Dienst. Taschenbuch. Mit 384 S., zahlr. Taf., Format 10 cm × 15 cm. Hrsg. Deutsche Angestellten-Gewerkschaft, Bundesberufsgruppe Technische Angestellte und Beamte. Hanseatische Verlagsanstalt GmbH, Hamburg 1960. Preis Kunststoffeinh. 3,20 DM.

Hochbelastbare Wasserstoff-Diffusions-Elektroden für Betrieb bei Umgebungstemperatur und Niederdruck. Von E. Justi u. M. Pilkuhn u. W. Scheibe u. A. Winsel. Mit 235 S., zahlr. B. und Taf. Verlag der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz 1959. In Kommission bei Franz Steiner Verlag GmbH, Wiesbaden. Preis brosch. 22,40 DM.

Ringbuch der Energiewirtschaft. 13. Lfg. Bd. 1 und 2. Hrsg. Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) in Zusammenarbeit mit dem Verband der deutschen Gas- und Wasserwerke (VGW). Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH (VWEV), Frankfurt a. M. 1960.

Principles of semiconductor device operation. Von A. K. Jonscher. Mit 176 S., zahlr. B. und Taf., Format 14,5 cm × 23 cm. Verlag G. Bell and Sons, Ltd., London 1960. Preis 30 sh.

An introduction to statistical communication theory. Von D. Middleton. Mit 1154 S., zahlr. B. und Taf., Format 16 cm × 23,5 cm. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London 1960. Preis Ganzln. 9,14 £.

The power team. A chronicle of the Swedish State Power Board its background and people jubilee year 1959. Von Ch. Cederholm. Mit zahlr. B. von L. Nilsson, Format 19,5 cm × 25 cm. Hrsg. Swedish State Power Board 1960.

Self-sustained modulations in transducer circuits with series capacitors. Von F. Dahlgren und R. Ladzinski. H. 148: Kunil. Tekniska Högskolans Handlingar. Transactions of the Royal Institute of Technology. Mit 64 S., 50 B., Format 17,5 cm × 24,5 cm. Verlag Elanders Boktryckeri Aktiebolag, Göteborg 1959. Preis brosch. 7,50 skr.

Hydromagnetic channel flows. Von L. P. Harris. Mit 96 S., zahlr. B. und Taf., Format 15,5 cm × 23,5 cm. Verlag John Wiley & Sons, Inc., New York und London 1960. Preis 2,75 \$.

Folgende Aufsätze erschienen in der ETZ-Ausgabe B vom 8. August 1960 Heft 16

F. Schröter: Der Bürstenverschleiß auf Kleinmaschinen.

H. Fehling: Ein neuer Schnellschalter zum Schutz von Gleichstrom-Fahrmotoren auf Triebwagen.

E. Koch: Verbrauch an elektrischer Energie, ein Gradmesser des Lebensstandards.

Abschluß des Heftes: 4. August 1960

Schluß des Textteiles

Schriftleitung: Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6, Fernruf 43 31 57; Fernschreiber (Telex) 04-12 871.

Hauptschriftleiter: Dr.-Ing. P. Jacottet (für den redaktionellen Teil verantwortlich).

Schriftleiter: Dipl.-Ing. H. Lübbars, Dipl.-Ing. F. Meske und Dipl.-Ing. K. Rangs.

Zuschriften für die Schriftleitung nicht an eine persönliche Anschrift, sondern nur an: Schriftleitung der ETZ, Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6.

Verlag und Anzeigenverwaltung: VDE-Verlag GmbH, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, Fernruf 34 01 41, Fernschreiber (Telex) 01-84 083.

Anzeigenleitung: Kurt Totzauer.

Bezugspreis (halbjährlich zuzügl. Zustellgebühr) 22,— DM, für VDE-Mitglieder - nur durch den VDE-Verlag - 14,— DM;

Ausgabe A und B zusammen 30,— DM,

für VDE-Mitglieder - nur durch den VDE-Verlag - 21,— DM.

Einzelpreis dieses Heftes 2,— DM.

Druck: Deutsche Zentraldruckerei AG, Berlin SW 61, Dessauer Straße 6/7